



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD STOR
Chemical French : an introduction to the



24503385137

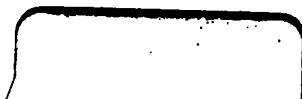
LANE

MEDICAL



LIBRARY

LEVI COOPER LANE FUND



STATE MEDICAL LIBRARY
UNIVERSITY
TO PASADENA DRIVE
LO ALTO. CALIF.

CHEMICAL FRENCH

Published by

The Chemical Publishing Co.

Easton, Penna.

Publishers of Scientific Books

Engineering Chemistry

Portland Cement

Agricultural Chemistry

Qualitative Analysis

Household Chemistry

Chemists' Pocket Manual

Metallurgy, Etc.

Chemical French

An Introduction to the Study of French
Chemical Literature

BY

MAURICE L. DOLT, Ph.D.

PROFESSOR OF CHEMISTRY IN THE NORTH DAKOTA
AGRICULTURAL COLLEGE

EASTON, PA.

THE CHEMICAL PUBLISHING CO.

1918

ka

LONDON, ENGLAND:
WILLIAMS & NORGATE,
14 MENHETTA STREET, COVERT GARDEN, W. G.

TOKYO, JAPAN:
MARUZEN COMPANY, LTD.,
11-16 NIKHOMBASHI TORI-SANCHOSIE

COPYRIGHT, 1918, BY EDWARD HART.

WABRI 39A

D 66
1918

TO MY MOTHER

For the sacrifices she made in giving me my early education in the
French Schools, this volume is gratefully dedicated.

45501

PREFACE.

This book is intended for students of chemistry wishing to acquire a reading knowledge of French in that particular science. A reading knowledge of French is required of students of chemistry in most institutions, especially of candidates for advanced degrees. For those who have had one or two years of French, the reading of scientific French will still offer certain difficulties which an ordinary dictionary will not solve, and for those who have not had any French, the task will be enough to discourage them. Moreover, the only available material has been articles in French journals of chemistry, and these articles not being written for students of French, are often too hard for them.

This volume is prepared to help students to overcome the difficulties of the language, and, at the same time, to make them acquire a vocabulary large enough to enable them to read, with understanding, any article written in any branch of chemistry.

The book can be used by a beginner or a class of beginners. The first four exercises are a review of the essentials of the language, and, with the help of a French grammar, should be studied very carefully. Then follows a series of graded exercises on inorganic chemistry, qualitative and quantitative analysis, organic chemistry, physical chemistry and finally industrial chemistry. It is of course impossible, within the scope of this book, to cover every phase of industrial chemistry, but the few exercises included will probably prove useful.

If students master the first part of the book, the second part, which includes advanced selections, should give very little difficulty. The selections were made carefully, with two things in mind: first, to give practice in reading original articles in the different branches of chemistry; second, to give an opportunity to American students to get acquainted with the pioneer work of the French chemists. These selections include articles published in the French journals of chemistry by some of the best

known French chemists, and appear either in full or in abbreviated form.

For permission to include articles and to make use of material gathered from different text-books, I wish to express my thanks to the following authors: Paul Sabatier, V. Grignard, Jean Effront, Mme. Skłodowska Curie; also to the following publishers: Masson & Co., Paris; Charles Béranger, Paris; Dunot & Pinat, Paris, and again to Charles Béranger for permission to reproduce articles from the *Annales de Chimie et de Physique*.

It is hoped that this book may be of service to all those who wish to acquire a sufficient knowledge of French to consult the French literature of chemistry, and especially to those who have only a very limited knowledge of that language.

Any corrections or suggestions will be gratefully received by the author.

M. L. D.

FARGO, N. Dak., August 6, 1917.

TABLE OF CONTENTS.

	PAGE
Table des éléments et de leurs symbols	I
Exercise 1—(articles)	2
Exercise 2—(adjectives and pronouns)	6
Exercise 3—(verbs, participles, adverbs, pronoun objects)	10
Exercise 4—(tenses)	16
Exercise 5—Généralités	19
Exercise 6—L'oxygène et l'hydrogène	24
Exercise 7—Le carbone, l'anhydride carbonique et l'oxyde de carbone	28
Exercise 8—Lois des combinaisons. Symboles. Nomenclature	32
Exercise 9—L'ammoniaque et les composés oxygénés de l'azote	36
Exercise 10—Le phosphore et ses composés	40
Exercise 11—Le soufre et ses composés	44
Exercise 12—Le chlore et ses dérivés	50
Exercise 13—Les oxydes. Les sels	54
Exercise 14—Les principaux métaux usuels	60
Exercise 15—Analyse qualitative	66
Exercise 16—Généralités sur les méthodes de dosage	73
Exercise 17—Généralités sur la chimie organique	82
Exercise 18—Les alcools, les acides et leurs dérivés	87
Exercise 19—Considérations générales sur les travaux pratiques de chimie organique	94
Exercise 20—Préparation de substances organiques	102
Exercise 21—Propriétés et lois générales de l'état gazeux	110
Exercise 22—Détermination des poids moléculaires	118
Exercise 23—Phénomènes électrolytiques	127
Exercise 24—Appareils de la chimie industrielle	135
La chimie, par André Job	145
Fluor, par Henri Moissan	152
Recherches sur les relations qui existent entre l'oxyde de carbone et l'acide formique, par M. Marcellin Berthelot	165
Des nitriles des acides gras, par Arm. Gautier	169
Sur les combinaisons organomagnésiennes mixtes et leur application à des synthèses d'acides, d'alcools et d'hydrocarbures, par M. V. Grignard	183
Sur une nouvelle méthode générale de synthèse des combinaisons aromatiques, par MM. C. Friedel et J. M. Crafts	202
Nouvelles méthodes générales d'hydrogénation et de dédoublement moléculaire basées sur l'emploi des métaux divisés, par MM. Paul Sabatier et J. B. Senderens	221

Les catalyseurs biochimiques dans la vie et dans l'industrie, par Jean Esfrent	234
Méthode universelle pour la détermination des poids moléculaires, par M. F. M. Raoult	244
Recherches sur les propriétés spécifiques des deux acides qui composent l'acide racémique, par M. L. Pasteur	264
Des effets produits sur les corps par les rayons solaires, par M. Edmond Becquerel	273
Recherches sur les substances radioactives, par Mme. Sklodowski Curie	282
Table of irregular verbs and their most important parts	314
Vocabulary	324

Chemical French.

PART I.

Elementary Exercises in Inorganic, Analytical, Organic, Physical and Industrial Chemistry.

TABLE DES ÉLÉMENTS ET DE LEURS SYMBOLES.

Aluminium	Al	Molybdène	Mo
Antimoine	Sb	Néodyme	Nd
Argent (silver).....	Ag	Néon	Ne
Argon	A	Nickel	Ni
Arsenic	As	Or (gold)	Au
Azote (nitrogen).....	Az	Osmium	Os
Baryum	Ba	Oxygène	O
Beryllium	Be	Palladium	Pd
Bismuth	Bi	Phosphore	P
Bore	B	Platine	Pt
Brome	Br	Plomb (lead).....	Pb
Cadmium	Cd	Potassium	K
Coesium	Cs	Praséodyme	Pr
Calcium	Ca	Radium	Ra
Carbone	C	Rhodium	Rh
Cerium	Ce	Rubidium	Rb
Chlore	Cl	Ruthénium	Ru
Chrome	Cr	Samarium	Sm
Cobalt	Co	Scandium	Sc
Crypton	Kr	Sélénium	Se
Cuivre (copper).....	Cu	Silicium	Si
Erbium	Er	Sodium	Na
Etain (tin).....	Sn	Soufre (sulfur).....	S
Fer (iron).....	Fe	Strontium	Sr
Fluor	F	Tantale	Ta
Gadolinium	Gd	Tellure	Te
Gallium	Ga	Terbium	Tb
Germanium	Ge	Thallium	Tl
Helium	He	Thorium	Th
Hydrogène	H	Thulium	Tm
Iode	I	Titane	Ti
Indium	In	Tungstène	W
Iridium	Ir	Uranium	U
Lanthane	La	Vanadium	V
Lithium	Li	Xénon	Xe
Magnésium	Mg	Ytterbium	Y
Manganèse	Mn	Zinc	Zn
Mercure	Hg	Zirconium	Zr

EXERCISE 1.*

VOCABULARY.

le, la, l', les = the	au, à la, à l', aux = to the, in the,
du, de la, de l', des = some	at the
un, une = a, one	il est = it (or he) is
de, d' = of	il n'est pas = it is not
du, de la, de l', des = of the, from	ils sont = they are
the	ils ne sont pas = they are not
il y a = there is, there are	il a = it (or he) has
il n'y a pas = there is not, there	il n'a pas = it (or he) has not
are not	ils ont = they have
pas de = no, not any	ils n'ont pas = they have not
et = and	mais = but
ou = or	

Le fer; le cuivre; l'argent; la chimie; le métal; les métaux; un acide; des sels; du zinc; du brome; de l'azote; de la paraffine; des éléments; un corps simple; des corps composés.

L'azote est un gaz; le plomb est un métal; l'or et l'argent sont des métaux; l'hydrogène et l'oxygène sont des gaz.

L'hydrogène est un corps simple; l'eau n'est pas un corps simple, mais un corps composé. L'eau est composée d'hydrogène et d'oxygène. Le brome et l'iode sont des corps simples ou éléments; l'alcool et l'acide sulfurique ne sont pas des corps simples, mais des corps composés.

Le symbole du fer est Fe; la formule de l'acide sulfurique est H_2SO_4 ; la formule générale des éthers est R_2O . Le salpêtre vient du Chili; le soufre vient de la Sicile; le cuivre vient des Etats-Unis d'Amérique. Le poids atomique du plomb est 207; le poids moléculaire de l'eau est 18. Le point de fusion de l'iodoforme est 119° .

Le fer se combine au soufre pour donner un sulfure; l'hydrogène se combine à l'oxygène pour former l'eau; l'oxygène s'unit aux métaux comme le fer et le mercure pour former des oxydes.

Il y a du pétrole aux Etats-Unis; il n'y a pas de mines d'or en France. On trouve du salpêtre au Chili.

Le sucre est soluble dans l'eau; il n'est pas soluble dans l'éther. La paraffine est soluble dans l'éther; elle n'est pas soluble dans

* Review of the definite and indefinite articles and their contractions.

l'eau. Les métaux sont solides à la température ordinaire, excepté le mercure. Le méthane et l'éthane sont des hydrocarbures saturés; l'éthylène et l'acétylène ne sont pas saturés. Le benzol a une odeur agréable; le camphre et le menthol ont une odeur agréable. Le sodium a une grande affinité pour le chlore; il n'a pas une grande affinité pour l'hydrogène. Les métaux ont une grande affinité pour l'oxygène à haute température, mais ils n'ont pas d'affinité pour l'hydrogène.

(REVIEW OF THE DEMONSTRATIVE ADJECTIVES AND PRONOUNS.)

ce, cet, cette = this, that	entre = between
ces = these, those	contre = against
celui-ci, celle-ci = this one	au-dessus = above
celui-là, celle-là = that one	au-dessous = below
ceux-ci, celles-ci = these	avec = with
ceux-là, celles-là = those	par = by
sur = on	à = at
sous = under	en = in, made of
dans = in	où = where

L'acide chlorhydrique attaque le fer; il n'a pas d'action sur l'or. Dans ce flacon il y a de l'acide sulfurique concentré; sur cette table il y a du papier à filtrer; les acides sont sous cette table; la table des poids atomiques est contre le mur; l'alcool ordinaire bout (boils) entre 70° et 80°; l'eau salée bout au-dessus de 100°; l'eau bout au-dessous de 100° sous une pression réduite (reduced pressure). Y a-t-il du papier sur la table? Oui, il y a un paquet de papier à filtrer rond, et un paquet de papier à filtrer plissé. Où trouve-t-on le pétrole? On le trouve dans la terre. Y a-t-il du pétrole aux États-Unis?

Le fer est attaqué par l'air humide; le platine n'est pas attaqué par l'acide sulfurique. L'oxygène forme des oxydes avec le cuivre, le fer et le plomb. L'or est inaltérable à l'air, et est stable en présence des acides ordinaires, mais il est dissous par l'eau régale. L'eau régale se compose d'acide chlorhydrique et d'acide azotique.

Ce métal est pur; ces métaux sont purs; cette préparation est simple; ces préparations sont difficiles. Ce corps est un corps simple; celui-là est un corps composé; cette eau est dis-

tillée; cet acide est concentré; celui-là est étendu. L'odeur du chloroforme est agréable; celle du sulfure de carbone est désagréable. Ce flacon est en verre d'Iéna; celui-là est en verre de Bohême. Ce ballon a un tube latéral (side-neck) et a un fond rond; ceux-ci ont un fond plat. Ces tubes à essai ont un diamètre de 2 centimètres; ceux-là ont un diamètre de 2 centimètres et demi. Il y a de l'azote dans l'air; on trouve du soufre en Sicile. Le courant électrique décompose l'eau en oxygène et en hydrogène. On décompose le sulfure de fer avec un acide. On fait l'éther avec de l'alcool et de l'acide sulfurique.

(REVIEW OF ADJECTIVES, THEIR POSITION AND AGREEMENT.)

incolore = colorless	chaud = warm
inodore = odorless	rouge = red
dur = hard	blanc, blanche = white
mou, molle = soft	noir = black
bon, bonne = good	vert = green
mauvais = bad	jaune = yellow
rond = round	gris = gray
plat = flat	brun = brown
beau, belle = beautiful, fine	rougeâtre = reddish
sec, sèche = dry	verdâtre = greenish
doux, douce = sweet	lourd = heavy
aigre = sour	léger, légère = light
amer = bitter	huileux, huileuse = oily
droit = straight	gras, grasse = fat fatty
courbé = bent	fuligineux = smoky
froid = cold	goudronneux = tarry

L'azote est un gaz incolore et inodore; l'hydrogène est un gaz léger, le chlore est lourd; le chlore est jaune verdâtre et a une odeur suffocante; le brome est un liquide rouge brun; l'argent est un métal blanc; le cuivre est rouge, l'or est jaune; une solution aqueuse de permanganate de potassium est violette; le charbon est noir; la chaux et la magnésie sont blanches. La vapeur de l'iode a une belle couleur violette.

L'or pur est mou et très malléable; le fer est dur; le cuivre est ductile. L'air est un mélange gazeux; l'eau est un composé liquide; le sucre est un corps solide; il a un goût agréable, il est doux.

Il y a deux sortes de phosphore: le phosphore rouge et le phosphore jaune. Le cuivre forme deux oxydes: l'oxyde cuivreux rouge (Cu_2O) et l'oxyde cuivrique noir (CuO). A la température ordinaire, le soufre a une couleur jaune citron; à 110° c'est un liquide transparent, jaune et fluide; à 220° il devient brun et épais. Le soufre est mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il est insoluble dans l'eau; il est soluble dans le sulfure de carbone (CS_2). La paraffine est blanche, cristallisable, demi-transparente. Elle fond (melts) vers 40° .

Ce tube de verre est droit; celui-ci est courbé. Cette eau est froide, celle-ci est chaude. Le glucose se trouve dans le commerce en masses molles, amorphes, d'un blanc légèrement jaunâtre, inaltérable à l'air. Il est soluble dans l'eau et l'alcool étendu, mais peu soluble dans l'alcool absolu. L'acide tartrique est un corps solide, cristallisé en prismes clinorhombiques présentant des facettes hémiedriques. Sa solution est dextrogyre, elle a une saveur acide agréable. Le nitrobenzène est un liquide jaunâtre, d'une odeur d'essence d'amandes amères. Le naphthalène se présente en lamelles cristallines incolores, d'une odeur goudronneuse. Il brûle avec une flamme très fuligineuse. Le phénol cristallise en aiguilles incolores, fusibles à 42° . Il a une saveur brûlante. Le tanin pur est un corps pulvérulent, amorphe, d'un blanc jaunâtre, sans odeur, d'une saveur très astringente. Une solution de tanin forme avec la peau fraîche une combinaison imputrescible. Le tanin forme avec les sels ferriques un précipité noir. La nitroglycérine est un liquide huileux, jaunâtre, solidifiable vers 0° . L'acide acétique est un acide de la série grasse; l'acide benzoïque appartient à la série aromatique.

EXERCISE 2.*

VOCABULARY.

quel, quelle, quels, quelles = which	quand = when
lequel, laquelle lesquels, lesquelles = which, which one which ones	comment = how
duquel, de laquelle = of which one, from which one	pourquoi = why, what for
desquels, desquelles = of which ones, from which ones	combien de? = how much, how many
auquel, à laquelle = to which one	quoi? = what
auxquels, auxquelles = to which ones	à quoi = of what
qui? = who	avec quoi = with what
que? = what	en quoi = what is it made of
	qui = which
	que = which
	dont = of which, with which
	ce qui, ce que = which, that which

Qui enseigne la chimie? Qui a découvert l'oxygène? C'est Priestley qui a découvert l'oxygène; c'est Lavoisier qui a étudié ses propriétés. Que faites-vous? Je prépare du sulfure d'hydrogène. Comment prépare-t-on le chlore industriellement? Avec quoi fait-on l'acide chlorhydrique? A quoi sert (servir = to be used as or for) le chlore? De quoi se sert-on (se servir de = to use) pour préparer l'éther? Quand le radium a-t-il été découvert? Par qui? De quelle couleur est le brome? Quel est le symbole du plomb? Quels éléments constituent l'acétylène? De quoi se compose l'acide azotique? Combien d'oxydes forme le fer? En quoi est ce creuset? Il est en platine. Quelle est la formule de l'acide acétique? Comment prépare-t-on l'aniline? De quels éléments se compose l'aniline? Quels sont les hydrocarbures qu'on extrait du goudron? A quoi sert le toluène? Comment prépare-t-on l'acide benzoïque industriellement? Combien de zinc faut-il (is it necessary or required) pour préparer 10 litres d'hydrogène? Où trouve-t-on le pétrole? Comment purifie-t-on le pétrole? De quel minerai extrait-on l'étain? Comment le cuivre est-il précipité de ses solutions?

De quelle couleur est l'oxyde cuivreux? Quel métal est liquide

* Review of the interrogative adjectives and pronouns, and of the relative pronouns.

à la température ordinaire? Quelle série d'hydrocarbures étudions-nous maintenant? Lequel des métaux ordinaires est le plus important? A quel élément s'unit l'hydrogène pour former l'eau? Auquel est-il combiné dans l'acide chlorhydrique? A quels composés donne-t-on le nom d'acides? Auxquels donne-t-on le nom de sels?

L'élément que nous étudions maintenant est le carbone. L'aluminium est un élément qui est très répandu. L'acide dont on se sert pour dissoudre le fer est l'acide chlorhydrique. Le gaz qui est formé quand on chauffe le chlorure de sodium avec de l'acide sulfurique et du bioxyde de manganèse est le chlore; le chlore est un gaz qui est jaune verdâtre et a une odeur suffocante.

A quels corps donne-t-on le nom de bases? Auxquels donne-t-on le nom d'acides? De quels minerais extrait-on le plomb? Desquels extrait-on le zinc? 400° est la température à laquelle ce corps se dissocie. D'où recevez-vous ces produits chimiques?

Les bouchons qui sont dans ce tiroir sont en caoutchouc; les bouchons que vous avez sont en liège. Pouvez-vous voir (can you see) ce que je fais? Pouvez-vous voir ce qu'il y a sur le tableau? Je vous dis (I tell you) ce qui est important. On peut savoir ce qui est dans un minerai en faisant (by making) une analyse qualitative.

(REVIEW OF THE POSSESSIVE ADJECTIVES AND PRONOUNS, AND OF THE INDEFINITE ADJECTIVES AND PRONOUNS.)

mon, ma, mes = my	le sien, la sienne, les siens, les siennes = his, hers
son, sa, ses = his, her	
votre, vos = your	le vôtre, la vôtre, les vôtres = yours
notre, nos = our	
leur, leurs = their	le nôtre, la nôtre, les nôtres = ours
quelque = some	
quelques-uns = some	le leur, la leur, les leurs = theirs
tout, toute, tous, toutes = all	l'un, l'une = one
même = same	les uns, les unes = some
chaque = each	l'autre = the other
aucun = no, none	les autres = the others
le mien, la mienne, les miens, les miennes = mine	

Dans le tiroir de votre table de travail il y a des ballons en

verre, et une douzaine de tubes à essais. Mon ballon a une capacité de 1 litre; le vôtre a une capacité de 500 centimètres cubes. Notre professeur de chimie est dans la salle de lecture. Nos cours de chimie ont lieu (take place) trois fois par semaine. Vous avez deux burettes pour vos analyses volumétriques; une de vos burettes est à pince (with pinchcock), l'autre est à robinet (with glass stopcock.) Ces burettes-là ont une bande en émail pour faciliter la lecture du ménisque. Leur analyse est correcte; la mienne n'est pas acceptable. Un de mes amis étudie la chimie à l'université de Paris. Nous étudions les hydrocarbures, leur préparation, leurs propriétés physiques et chimiques.

L'étain forme quelques sels importants. Tous les sels de sodium sont solubles dans l'eau. Toutes les bases peuvent s'unir aux acides pour donner des sels. Tout l'hydrogène de l'acide sulfurique peut être remplacé par un métal, mais tout l'hydrogène des acides organiques n'est pas remplaçable par un métal. L'alcool éthylique et l'éther méthylique ont la même formule brute, mais leurs formules de constitution sont différentes. Il y a trois acides lactiques: l'un est dextrogyre, l'autre levogyre et le troisième est inactif. Tous les hydrocarbures de la série grasse n'ont pas les mêmes propriétés physiques: quelques hydrocarbures sont gazeux à la température ordinaire, quelques-uns sont liquides, et d'autres sont solides; tous ont les mêmes propriétés chimiques: aucun ne forme de produits d'addition, mais tous peuvent former des produits de substitution avec le chlore et le brome.

beaucoup de = much, many
 peu de = little, few
 plusieurs = several
 plus (lourd) que = heavier than
 moins (lourd) que = not so heavy
 aussi (lourd) que = as heavy as

plus de = more
 moins de = less, fewer
 autant de = as much as, as many
 le plus = the most
 le moins = the least
 plus = the more

L'hydrogène est un gaz plus léger que l'oxygène; c'est le gaz le plus léger. Il y a quatre fois plus d'azote que d'oxygène dans l'air. L'acide sulfurique concentré est plus lourd que l'eau. L'ammoniaque concentré a une densité moins grande que l'ammoniaque étendu. Le platine est aussi cher (expensive) que l'or;

il est beaucoup plus employé dans les laboratoires que l'or; l'or est plus malléable que le platine. Le fer est plus répandu que le cuivre. La tension de vapeur d'un liquide n'est pas la même à différentes températures; plus la température est élevée, plus la tension augmente.

Il y a beaucoup de mines de fer et de cuivre en Amérique. Il y a plusieurs dépôts de pétrole aux Etats-Unis. L'Angleterre produit beaucoup de charbon. La France produit moins de charbon que les Etats-Unis. Le manganèse et l'oxygène forment plusieurs composés, ou oxydes; le bioxyde de manganèse est le plus important. Il sert à préparer l'oxygène; quand on chauffe le bioxyde de manganèse, il cède une partie de son oxygène, mais pas tout. Le carbone et l'hydrogène forment beaucoup de composés auxquels on donne le nom d'hydrocarbures; plus de cent hydrocarbures sont connus; la proportion de carbone et d'hydrogène varie avec les différentes séries; l'éthane, l'éthylène et l'acétylène ont tous trois le même nombre d'atomes de carbone, mais l'éthane a six atomes d'hydrogène, l'éthylène a moins d'hydrogène, seulement quatre atomes, mais il a plus d'hydrogène que l'acétylène qui a seulement deux atomes. L'acétylène est moins saturé que l'éthylène qui, à son tour, est moins saturé que l'éthane. L'éthane est le plus saturé et l'acétylène est le moins saturé.

Le problème que vous avez en analyse qualitative est plus difficile que le mien; celui que j'ai contient seulement quatre métaux, mais le vôtre contient au moins dix métaux et métalloïdes. Le chlore forme plusieurs acides, dont le plus important est l'acide chlorhydrique, auquel on donne aussi le nom d'acide muriatique.

EXERCISE 3.*

VOCABULARY.

ne.....pas = not
 ne.....que = only
 ne.....rien = nothing.
 ne.....personne = no one, no-
 body
 ne.....plus = no more, no
 longer
 ne.....jamais = never
 ne.....pas encore = not yet
 quelque chose = something
 quelqu'un = some one
 toujours = always
 quelquefois = sometime
 souvent = often
 rarement = seldom
 seulement = only
 encore = still, yet
 déjà = already
 très = very
 presque = almost
 facilement = easily
 difficilement = with difficulty
 depuis = since
 trop = too
 assez = enough
 le, la = it, him, her
 les = them
 lui = to it, to him, to her
 leur = to them
 me = me, to me
 vous = you, to you
 nous = us, to us
 en = some, some of it, some of
 them, from it, from there
 y = there (for positions), from
 there

avoir = to have
 avoir lieu = to take place
 avoir besoin de = to need
 être = to be
 pouvoir = to be able
 vouloir = to want, to wish
 devoir = must, to have to
 faire = to do, to make
 dissoudre = to dissolve
 extraire = to extract
 conduire = to lead, to conduct
 réduire = to reduce
 oxyder = to oxidize
 calciner = to burn, to char
 chauffer = to heat
 s'échauffer = to heat, to become
 hot
 commencer = to begin
 durer = to last
 peser = to weigh
 broyer = to crush
 sécher = to dry
 demander = to ask, to require
 agiter = to shake
 amener = to bring
 fabriquer = to manufacture
 laisser tomber = to drop, to let
 drop
 se trouver = to be found, to be
 se rencontrer = to be found, to
 be met
 aller = to go
 venir = to come
 venir de = to have just
 finir = to end, to finish
 bouillir = to boil

* Review of transitive, intransitive and reflexive verbs in the present tense, past and future; agreement of past participles; adverbs and pronoun objects.

Le sucre se dissout facilement dans l'eau ; le carbonate de calcium n'est pas soluble dans l'eau pure ; l'acide chlorhydrique le décompose en acide carbonique et en chlorure de calcium. Le soufre a plusieurs valences, l'hydrogène n'a qu'une valence. Il y a deux chlorures de cuivre, il n'y a qu'un chlorure d'argent. Il y a quelque chose dans ce flacon, il n'y a rien dans celui-là. Quelqu'un prépare de l'aniline dans ce laboratoire ; personne ne fabrique d'indigo dans ce pays. Il n'y a personne dans le laboratoire maintenant. Ya-t-il encore de l'éther dans ce flacon ? Oui, il y a encore de l'éther ; oui, il y en a encore. Non, il n'y a plus d'éther ; non, il n'y en a plus. Si la température monte au-dessus de 100° , la réaction continue encore ; si elle tombe au-dessous de 50° , elle ne continue plus, elle s'arrête.

L'acide sulfurique ordinaire n'est jamais pur ; il contient toujours du sulfate de plomb. Un composé organique pur fond toujours à la même température, et un liquide pur bout toujours à la même température. Votre analyse est-elle déjà finie ? Oui, elle est déjà finie ; non, elle n'est pas encore finie ; elle est presque finie. On rencontre quelquefois le cuivre à l'état natif, mais rarement. Le fer se trouve presque toujours sous la forme d'oxydes ; quelquefois on le rencontre sous la forme de carbonate. On le trouve à l'état métallique seulement dans les pierres météoriques. Le radium est un métal très rare et très difficile à extraire de ses minerais ; il a une très grande valeur, à cause de ses applications en médecine. Ce minerai de zinc contient trop d'étain ; celui-ci n'est pas assez riche pour l'extraire.

On prépare l'hydrogène en décomposant l'eau par le courant électrique ; on le prépare aussi par l'action des acides sur les métaux. L'alcool éthylique est un composé organique qui a la formule C_2H_5OH ; on le prépare par la fermentation des matières sucrées. Etudiez-vous la chimie ? Oui, je l'étudie depuis deux ans. Comment sait-on si une solution est acide ou alcaline ? On le sait en touchant la solution avec un morceau de papier de tournesol. L'acide sulfurique étendu attaque-t-il facilement le fer et le zinc ? Oui, il les attaque très facilement, et les transforme en sulfates. L'acide concentré attaque aussi le cuivre quand on le chauffe ; il le transforme en sulfate de cuivre, mais dans ce cas il

n'y a pas d'hydrogène qui se dégage, mais de l'anhydride sulfureux. Comment appelle-t-on le composé CS_2 ? On lui donne le nom de sulfure de carbone. Quelle est l'action de l'oxygène sur l'alcool méthylique? Il lui enlève de l'hydrogène et le transforme en aldéhyde formique, puis en acide formique. Comment appelle-t-on les corps formés par l'action des métaux sur les acides? On les appelle sels; on leur donne le nom de sels. Pouvez-vous me donner la constitution de l'acétylène? Non, je ne peux pas vous la donner, mais je peux vous donner sa formule empirique. Avez-vous du papier à filtrer à votre table? Oui, j'en ai; non, je n'en ai pas. Y a-t-il de l'eau dans cette bouteille? Oui, il y en a; non, il n'y en a pas. Avons-nous des fabriques d'acide sulfurique dans ce pays? Oui, nous en avons beaucoup. Fabrique-t-on de l'aniline en Amérique? Oui, on en fabrique un peu maintenant.

Il y a des oxydes qui sont très stables; il y en a d'autres qui se décomposent très facilement par la chaleur. Le fer forme des oxydes à basse température; l'or n'en forme pas. Préparez-vous des composés organiques au laboratoire? Oui, nous en préparons au moins une trentaine. Avez-vous des bouchons de liège dans votre tiroir? Oui, nous en avons quelques-uns; nous n'en avons pas un seul, seulement des bouchons de caoutchouc.

Où sont mes allumettes? Elles sont sur la table. Mes livres sont-ils dans ce laboratoire? Non, ils n'y sont pas. Où est votre thermomètre? Il est devant vous. Le mien est-il sous la hotte (hood)? Oui, il y est; non, il n'y est pas. Notre professeur va-t-il à New-York? Oui, il y va; non, il n'y va pas, il en vient. Depuis quand étudiez-vous la chimie? Je l'étudie depuis dix ans.

Pour la détermination de l'azote par la méthode Kjeldahl, on oxyde la matière organique par l'acide sulfurique concentré; quand la matière organique est entièrement oxydée, la solution est claire. Le camphre brûle avec une flamme fuligineuse. Dans l'essai de l'argent, après avoir filtré le chlorure d'argent, on le sépare du papier à filtrer et on brûle le papier séparément. En brûlant, le papier réduit les quelques particules de chlorure d'argent qui y adhèrent. J'ai brûlé le précipité. Il s'est brûlé en

allumant son brûleur de Bunsen. Que produit l'hydrogène en brûlant? Pendant une réaction chimique il y a presque toujours dégagement de chaleur. Si on verse de l'acide sulfurique concentré dans de l'eau, le mélange s'échauffe, et peut même bouillir. Avez-vous chauffé cette solution avant de la filtrer? Pour distiller l'éther on ne chauffe jamais à flamme nue, mais au bain-marie. On prépare le nitrobenzène par l'action d'un mélange d'acide nitrique et sulfurique sur le benzène; on agite fortement; quand la réaction commence, la température s'élève, mais il ne faut pas qu'elle s'élève (it must not rise) au-dessus de 65°. Notre cours de chimie commence à onze heures et finit à midi. Nous avons commencé l'étude des métaux; demain nous commencerons l'étude de la métallurgie du fer.

Combien pèse ce creuset vide? Il pèse 12 grammes et demi. Combien de fois l'avez-vous pesé? Je l'ai déjà pesé trois fois et je le pèserai encore une autre fois aussitôt qu'il sera refroidi. Pour les analyses volumétriques il faut mesurer les liquides très exactement, avec des pipettes ou avec des burettes. Pour analyser un minerai, il faut d'abord le broyer et le pulvériser avant de pouvoir le dissoudre. Ce précipité est sec; je l'ai séché à l'étuve pendant deux heures.

Cette réaction est très simple, mais elle demande beaucoup de temps, au moins dix heures; je l'ai commencée à huit heures ce matin et elle ne sera pas terminée avant six heures ce soir. Que me demandez-vous? Je vous demande si vous pouvez me prêter votre thermomètre; le mien est cassé. A qui avez-vous demandé un thermomètre? J'en ai demandé un à mon voisin. Nous demanderons à notre professeur de nous permettre d'aller au laboratoire de bonne heure. Aujourd'hui nous avons eu un examen en chimie organique; je n'ai pas pu répondre à toutes les questions qui ont été demandées.

N'oubliez pas d'agiter le ballon qui contient le mélange d'acides nitrique et sulfurique pendant que vous ajoutez le benzène. Si vous ne l'agitez pas suffisamment, le rendement (yield) sera médiocre. On amène la vapeur d'eau par ce tube. J'ai amené lentement la solution au point d'ébullition.

J'ai six cours de chimie par semaine. Nous avons eu de la

difficulté à faire dissoudre ce sel, nous avons été obligés de chauffer le solvant. Aurez-vous quelque chose à faire cet après-midi? Oui, j'aurai trois heures de travail au laboratoire, mais demain je n'aurai rien à faire après trois heures. Ce produit est très difficile à purifier; il a déjà été cristallisé trois fois, mais il n'est pas encore tout à fait pur. Quand il sera sec, je déterminerai son point de fusion.

Que faites-vous maintenant? Je suis en train de peser (in the act of weighing) un creuset. Qu'avez-vous fait? J'ai pesé mon creuset. Cet élève a fait une erreur, il a oublié de laver son précipité avant de le calciner. Nous ferons deux analyses de ce minerai de fer, une analyse gravimétrique et une analyse volumétrique. On fait évaporer un liquide en le chauffant.

Pouvez-vous me donner la formule de cet acide? Oui, je peux vous la donner. Comment peut-on déterminer la composition d'un minerai? En en faisant l'analyse. Il ne pourra pas passer ses examens parce qu'il n'étudie pas assez. Il n'a pas pu passer ses examens de chimie minérale, et il sera obligé de répéter ce cours l'année prochaine. Si on veut accélérer la réaction, on peut élever la température, mais le rendement est bien diminué. Il est préférable d'opérer à basse température. J'ai demandé à mon voisin de me prêter son thermomètre, mais il n'a pas voulu me le prêter; et comme je me sers du mien maintenant je ne pourrai pas commencer cette synthèse avant demain. Cette réaction doit être terminée; je l'ai commencée à huit heures ce matin. Ces creusets doivent être pesés immédiatement. J'ai dû m'absenter de l'université pendant quelques jours pour aller à une réunion de la société de chimie. Je devrai m'absenter pendant une semaine le mois prochain.

Si un gaz est dans un espace clos, et si la température s'élève, la pression va en croissant. Ces élèves vont à leur cours de chimie; ils viennent de leur cours de mathématique. Je suis allé à Chicago pour assister à une réunion qui a eu lieu la semaine dernière. Il ira à New-York pour assister à une réunion qui aura lieu en Septembre. En allant de Chicago à New-York, on passe les chutes du Niagara qu'on utilise comme force motrice dans plusieurs industries chimiques. Nous nous y sommes ar-

rétés pour visiter la fabrique de carbure de calcium qui s'y trouve. En revenant de New-York vous arrêterez-vous pour visiter les fabriques de soude par le procédé Solvay?

On commence à préparer les matières colorantes en grand (on the large scale) aux Etats-Unis, et dans peu de temps on produira presque toutes les matières colorantes dont on a besoin ici.

Le professeur X ne sera pas ici l'année prochaine; il ira en Europe pour continuer ses études de chimie; il reviendra ici après cela. Nos cours de chimie organique ont lieu trois fois par semaine; les examens auront lieu la semaine prochaine. J'ai besoin d'un peu d'alcool pour cristalliser ce produit. Comme ce minéral est tout préparé, vous n'aurez pas besoin de le pulvériser; vous n'aurez qu'à le calciner avant de le dissoudre.

Le sulfate de soude se dissout facilement dans l'eau; l'eau dissout le sucre, mais ne dissout pas la paraffine. J'ai dissous l'iode dans de l'alcool pour faire de la teinture d'iode. Ce sel ne se dissoudra pas dans l'eau sans la chauffer. On extrait l'aniline avec de l'éther; l'éther a extrait toute l'aniline, et en évaporant l'éther au bain-marie, l'aniline restera dans le ballon à distiller. Si l'aniline est en combinaison avec un acide, l'éther ne la dissoudra pas; il faudra d'abord rendre la solution alcaline pour libérer la base.

Les métaux sont bons conducteurs de la chaleur; ils conduisent bien l'électricité aussi. J'ai conduit de la vapeur d'eau dans ce ballon et la vapeur a entraîné un produit qui s'est solidifié en refroidissant. L'oxygène oxyde les métaux; l'hydrogène réduit les oxydes. Ce métal est oxydé; pour produire de l'acide benzoïque, nous avons oxydé le toluène avec de l'acide chromique. Le toluène s'oxydera plus facilement si on l'attaque d'abord par le chlore. Les matières grasses en s'oxydant à l'air produisent de la chaleur et peuvent même s'enflammer spontanément.

EXERCISE 4.*

VOCABULARY.

il faut = it is necessary	en attendant que = while
de peur que = for fear	pourvu que = provided
afin que = so that	peu importe que = it matters little,
pour que = in order that	no matter
quoique = although	le seul = the only
quel que, quoi que = whatever	le premier = the first
à moins que = unless	

Quand nous étions à Londres, nous allions tous les jours visiter les laboratoires de l'Institut Impérial; les laboratoires venaient d'être installés, mais il y avait déjà beaucoup d'élèves dans les laboratoires de chimie. Nous avons aussi fait une visite à Oxford, et si nous avions eu le temps, nous serions allés à Cambridge. Nous aurions aussi aimé aller à Paris pour visiter le laboratoire de Madame Curie, mais nous avons été obligés de revenir en Amérique peu après.

Si cette substance était pure, elle fondrait à 82°; si ce liquide avait été pur, il aurait bouilli à 150°. Il ne faut jamais (one must never) peser un objet quand il est encore chaud; si on le pesait alors, il paraîtrait plus léger qu'il ne l'est réellement. Combien pesait ce verre de montre (watch glass) la première fois que vous l'avez pesé? Il pesait 3,2500 grammes, mais depuis il a perdu 0,5 milligrammes.

Est-ce que cette solution est bien claire? Si elle n'était pas claire il faudrait la clarifier. L'iodoforme que vous avez préparé n'est pas très pur; son point de fusion est un peu trop bas; si vous l'aviez cristallisé une deuxième fois il serait plus pur. Les solutions de nitrate d'argent noircissent à la lumière. Si une solution de nitrate d'argent restait exposée à la lumière elle se décomposerait bien vite. L'air est un mélange gazeux; si l'air était un composé chimique, sa composition serait toujours la même; mais elle varie avec l'altitude.

L'hydrogène et le chlore ont une très grande affinité l'un pour l'autre, mais quand les deux gaz sont absolument secs, ils ne se

* Review of the imperfect, preterit, pluperfect, conditional and subjunctive tenses.

combinent pas. Si l'éther était absolument sec, le sodium n'aurait aucune action dessus. Le méthane est un hydrocarbure qui brûle à l'air avec une flamme d'un blanc jaunâtre peu éclairante, en donnant de la vapeur d'eau et de l'anhydride carbonique. Si, à deux volumes de méthane, vous ajoutiez quatre volumes d'oxygène et que vous approchiez une flamme il se produirait une détonation assez violente pour briser le flacon. Si l'air ou l'oxygène n'était pas en quantité suffisante, la combustion serait incomplète; l'hydrogène brûlerait d'abord; il se formerait un peu d'acétylène et il y aurait dépôt de charbon.

En 1831, Phillips entreprit le premier la fabrication industrielle de l'anhydride sulfurique en faisant passer sur de la mousse de platine légèrement chauffée de l'air et du gaz sulfureux provenant du grillage des pyrites; mais son entreprise n'eut pas de succès, car les impuretés des gaz employés mettaient rapidement cette mousse de platine hors d'usage. En 1838, Kuhlmann entreprit la même fabrication et l'abandonna par suite des mêmes inconvénients. Mais en 1875 Winckler réalisa avec succès cette préparation industrielle. Il décomposait par la chaleur l'acide sulfurique ordinaire comme l'avaient fait H. Sainte-Claire Deville et Debray pour obtenir industriellement l'oxygène; puis, après avoir absorbé la vapeur d'eau par l'acide sulfurique concentré, il faisait passer le mélange sec d'oxygène et de gaz sulfureux purs sur de l'amianté platinée (platinized asbestos) chauffée au rouge sombre.

Si l'on chauffe du phénol avec de l'acide nitrique dilué, il se forme de l'ortho et du para nitrophénol; si l'acide nitrique était concentré, il se formerait de l'acide picrique. L'emploi de l'acide picrique et de la nitroglycérine comme explosifs était inconnu il y a soixante ans. Si vous laissez de l'éther dans un flacon ouvert, il se vaporiserait en très peu de temps; si le flacon était fermé les vapeurs de l'éther ne pourraient pas s'échapper; si le flacon avait été bien bouché, ce liquide n'aurait pas pu s'évaporer. Vous devriez (should) agiter ce flacon pendant la réaction. Vous auriez dû (you should have) laver ce gaz en le faisant passer dans de l'eau et ensuite dans de l'acide sulfurique.

Il faut que la solution d'azotate d'argent soit acide avant de précipiter l'argent avec de l'acide chlorhydrique. Il faut que

vous agitez constamment la flacon contenant l'acide nitrique et que vous refroidissiez le contenu du ballon pendant que vous ajoutez le benzène. Notre professeur veut que nous entrions les résultats de nos expériences dans un cahier spécial.

Je suis bien content que cette analyse soit correcte; elle était un peu difficile et très longue; je l'ai faite très soigneusement et je n'aurais pas aimé être obligé de la recommencer. Quand on expérimente avec des gaz sous pression, il est bon de mettre des lunettes pour se protéger les yeux, de peur qu'un accident n'arrive qui pourrait avoir des résultats très sérieux. Ce ballon est pourvu d'un réfrigérant ascendant (reflux condenser) afin que les vapeurs puissent se condenser et retourner dans le ballon. Pour que cette substance ne puisse pas se décomposer, il faut remplacer l'air par un gaz inerte comme l'azote.

Il faut que j'aille à New-York pour assister à une réunion. Mon analyse de ce minerai n'est pas correcte, quoique j'aie pris beaucoup de précautions; j'ai dû faire une erreur dans mes calculs. Il faut que les gaz soient bien purs et soient séchés très soigneusement avant d'arriver sur le catalyseur; autrement la réaction s'arrête bientôt. Il y a pour chaque gaz une température au-dessus de laquelle il est impossible de liquéfier ce gaz quelle que soit la pression appliquée au gaz. Quelle que soit la quantité d'oxygène que l'on mette en présence d'un poids donné d'hydrogène, les deux corps se combinent toujours dans la proportion de 8 du premier pour un du second.

Si exactes que soient les méthodes de l'analyse qualitative, elles ne sont pas toujours suffisantes pour déceler la présence d'un élément quand celui-ci est en très petite quantité. Il faut alors qu'on se serve de méthodes spéciales comme celles de la physico-chimie. L'essai par voie sèche au moyen de la perle de borax (borax bead) révèle facilement la présence du nickel à moins que celui-ci soit accompagné de cobalt; dans ce cas la coloration bleue due au cobalt masque absolument la teinte propre au nickel.

On attend que la réaction assez vive se soit calmée avant de continuer l'addition du reste de l'acide. En attendant que ce creuset se refroidisse avant de le peser, je vais filtrer ce précipité. Un des principes de la chimie sur le rapport de la chaleur et du

travail dans les réactions chimiques est, qu'entre un état initial et un état final donné, peu importe ce qu'aient été les intermédiaires, la quantité de chaleur produite ou absorbée est la même. Une solution de permanganate de potassium est stable pourvu qu'on la conserve dans des flacons fermés pour exclure les matières organiques.

Le mercure est le seul métal qui soit liquide à la température ordinaire. Le cuivre est le premier métal que l'homme ait employé pour fabriquer ses instruments de guerre et ses outils tranchants, parce qu'on le trouvait en grandes masses à l'état natif et qu'on pouvait l'obtenir par le chauffage et le martelage.

Le diamant est la variété de carbone la plus dure qu'on connaisse. Le méthane est l'hydrocarbure le plus simple qui existe et le seul qui ne contienne qu'un atome de carbone. L'acide sulfurique est un acide très énergique; il en faut bien peu (*very little is necessary*) dans l'eau pour que la solution rougisse le tournesol. Quand on distille un liquide comme le bromure d'éthyle, il faut veiller à ce que (*one must watch that*) le réfrigérant soit absolument sec et à ce que le récipient soit bien refroidi avec de la glace.

EXERCISE 5.

GÉNÉRALITÉS.

corps simple = element	teinture de tournesol = litmus
corps composé = compound	engendrer = to form
rouille = rust	rougir = to turn red
dégager = to evolve	bleuir = to turn blue
propriété = property	saveur salée = salty taste
éclat = lustre	incolore = colorless
mélange = mixture	méthode par les pesées = gravi-
donner naissance à = to give	metric method
rise to	ponce = pumice
saveur piquante = sharp taste	

La chimie comprend l'étude des corps simples, des corps composés qu'ils peuvent donner et les lois générales des combinaisons.

Les corps composés renferment deux ou plusieurs substances dont l'ensemble a le même poids que la matière primitive.

On montre qu'un corps composé renferme plusieurs corps simples en provoquant leur séparation: la rouille de mercure chauffée dépose des gouttelettes brillantes de mercure et elle dégage du gaz oxygène.

On connaît aujourd'hui environ 70 corps simples dont un grand nombre sont sans emplois. On n'a pas suivi une règle unique pour leur donner des noms; pour quelques-uns cependant le nom rappelle une propriété.

Les corps simples sont classés en deux groupes: les métaux qui conduisent bien la chaleur et l'électricité et qui peuvent avoir un vif éclat, une surface brillante, quand ils ont été coupés ou limés; les métalloïdes qui sont sans éclat et qui ne conduisent ni la chaleur ni l'électricité. Ces derniers donnent par leur union avec l'oxygène des acides, tandis que les premiers donnent des oxydes ou bases.

L'association des corps simples peut se faire de deux manières: par mélange et par combinaison.

Le mélange est une réunion où les corps gardent leurs propriétés et peuvent être facilement séparés les uns des autres.

La combinaison est une union intime qui donne naissance à un nouveau corps homogène, différent par ses propriétés de ceux qui l'ont formé et où ceux-ci ne peuvent plus facilement être retrouvés avec l'aspect qu'ils avaient d'abord. De plus, la combinaison est accompagnée habituellement d'un dégagement de chaleur.

Le corps composé formé de deux corps simples (métalloïde et métal) a reçu un nom qui rappelle sa composition; le nom du métalloïde est terminé en *ure* et suivi du nom du métal. Dans le cas de deux métalloïdes, on suit une règle analogue. Par exemple = le chlorure de sodium.

La plupart des combinaisons dégagent de la chaleur, elles sont dites exothermiques ou directes; celles qui, au contraire, en absorbent pour s'effectuer sont dites endothermiques ou indirectes.

La notion d'acide est venue de la saveur piquante de certaines substances, comme le vinaigre, le jus de citron, le jus d'oseille. On a reconnu ensuite que ces corps changent en rouge quelques couleurs bleues végétales, comme la teinture de tournesol. Ce:

changement de coloration a servi dans les débuts de la chimie à distinguer les acides. On a reconnu que la plupart des métalloïdes en brûlant à l'air ou en se combinant à l'oxygène, peuvent engendrer des acides. Et la même terminaison *ique* a aussi été donnée aux acides végétaux; le vinaigre, le jus de citron, le jus d'oseille ont donné l'acide acétique, l'acide citrique et l'acide oxalique.

Pour donner une définition générale des acides, il faut invoquer une propriété chimique qui convienne à tous, et on la trouve dans les combinaisons qu'ils peuvent produire. On définit donc les acides des corps qui échangent de l'hydrogène contre un métal; et on ajoute qu'ils rougissent la teinture bleue du tournesol et que la plupart sont des combinaisons des métalloïdes avec l'oxygène.

Presque tous les métaux changent à l'air et se couvrent d'une couche, crasse de plomb ou rouille du fer, qui est la combinaison du métal avec l'oxygène. Quand ces corps sont solubles dans l'eau, leur solution a une saveur caustique fort différente de celle des acides et elle ramène au bleu la teinture du tournesol rougi.

On a d'abord appelé bases les corps qui ont cette double propriété, et le nom a été étendu à tous les composés des métaux avec l'oxygène. On appelle donc bases les composés ordinairement métalliques qui peuvent se combiner à un acide, et on ajoute que beaucoup ont une saveur caustique et bleuissent le tournesol rougi.

Les corps neutres sont ceux qui n'ont d'action ni sur le tournesol rouge, ni sur le tournesol bleu; ils ne ressemblent ni aux acides, ni aux bases. L'eau en est un exemple.

L'expression du sel n'éveille dans le langage vulgaire que l'idée du sel marin avec sa saveur particulière. Dans le langage chimique on appelle sels des corps très divers qui n'ont pas forcément une saveur salée et dont la plupart sont produits par la combinaison d'un acide avec une base.

Que l'on prenne la potasse, base très caustique, avec l'acide sulfurique très fort comme acide et qu'on les mêle en proportion convenable, les deux corps perdent chacun les propriétés qu'ils avaient, le composé formé peut être obtenu solide; il est entière-

ment différent et de la base et de l'acide, c'est un sel, le sulfate de potasse.

Il en serait de même avec l'acide azotique et l'ammoniaque, avec le vinaigre et oxyde de plomb.

Et pour donner aux différents sels des noms qui rapellent l'acide et la base, on change en *ate* la terminaison *ique* de l'acide et on fait suivre du nom de la base. On a ainsi avec l'acide carbonique les carbonates, les azotates avec l'acide azotique, les phosphates et les sulfates avec les acides phosphorique et sulfurique.

D'une façon générale, on définit les sels des composés dérivés des acides où l'hydrogène a été remplacé par un métal, et on retient que la plupart proviennent de l'action d'un acide sur une base.

L'air atmosphérique est incolore sous une faible épaisseur et bleu en grandes masses. Il pèse par litre 1 gramme 293 à la pression ordinaire et à la température 0°.

Les corps combustibles brûlent quelque temps dans un air confiné, puis ils s'éteignent et l'air a quelque peu diminué de volume.

On montre facilement que l'air est formé de deux gaz principaux, l'oxygène et l'azote: l'expérience du phosphore brûlant dans un espace d'air limité le prouve. L'air n'est donc pas un élément comme le croyaient les anciens. Outre les deux gaz précédents, l'air renferme encore de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique et des poussières minérales et organiques dont une partie peut contenir des microbes, organismes microscopiques qui sont les agents des putréfactions et qui sont pernicioeux pour la santé de l'homme.

Montrer l'existence de tous ces corps, c'est faire l'analyse qualitative de l'air; chercher leurs proportions, c'est faire l'analyse quantitative.

Dans cette dernière, on recherche d'abord la quantité d'azote et d'oxygène contenue dans un volume déterminé d'air, on absorbe l'oxygène et on mesure l'azote restant.

On peut employer le phosphore; introduit dans un volume donné d'air, il absorbe lentement l'oxygène, et quand tout ce der-

nier gaz est disparu, et que le phosphore est retiré, on mesure le volume restant qui est de l'azote.

On trouve: pour 100 litres d'air 21 litres d'oxygène et 79 litres d'azote.

On peut aussi employer une dissolution de potasse et une d'acide pyrogallique; leur mélange absorbe l'oxygène et laisse l'azote.

La méthode par les pesées est plus exacte et plus complète. On fait passer de l'air d'abord dans des tubes à potasse où reste le gaz carbonique, dans les tubes à ponce où s'arrête la vapeur d'eau, sur du cuivre chauffé qui retient l'oxygène; on ne recueille enfin que l'azote.

La composition de l'air atmosphérique est constante, n'importe où l'on en prenne: on y trouve toujours sur 100 litres, 79 litres d'azote et 21 d'oxygène, de quatre à dix millièmes de gaz carbonique et de vapeur d'eau.

L'air est un mélange; on le forme en mêlant 4 volumes d'azote à un volume d'oxygène et il n'y a aucun dégagement de chaleur, comme il arriverait s'il y avait combinaison; en second lieu, les proportions des deux gaz ne sont pas dans un rapport simple; enfin quand l'air se dissout, c'est chacun de ces deux gaz avec son propre pouvoir de solubilité qui se dissout dans l'eau; et l'air dissous n'a plus la même constitution que l'air ordinaire; il renferme en effet 32 pour 100 d'oxygène.

L'air, au point de vue chimique, a les propriétés de l'oxygène tempérées par la présence de l'azote; il sert à la respiration des animaux et des plantes; il produit l'oxydation des métaux.

C'est Lavoisier qui a montré le premier, en 1774, et la composition de l'air, et son rôle véritable dans la combustion, dans l'oxydation des métaux et dans la respiration. Dans sa célèbre expérience où il chauffait du mercure dans un espace d'air limité, il a fait voir que l'air perd un cinquième de son volume pour former la chaux de mercure ou ce qu'on appelle aujourd'hui l'oxyde de mercure, que le reste de l'air n'entretient ni la combustion, ni la vie; que l'oxyde de mercure chauffé rend l'oxygène pris à l'air pour sa formation. Il a conclu que l'oxygène occupe le cinquième de l'air et en est la partie active dans les oxydations ou les combustions.

EXERCISE 6.

L'OXYGÈNE ET L'HYDROGÈNE.

par rapport à = compared with	cloche = bell jar
peser = to weigh	chalumeau = blowpipe
dégagement = evolution	chaux = lime
à bon marché = cheap	aciduler = to acidify
azote = nitrogen	flacon à deux tubulures = Woulff bottle with two necks
fumier = stable manure	tube à entonnoir = funnel tube with thistle top
engrais = fertilizer	
inodore = odorless	
tube effilé = drawn out tube	

L'oxygène est un gaz incolore, très peu soluble dans l'eau, difficile à liquéfier, dont le poids est de 1 gr. 43 par litre. Sa densité par rapport à l'air est 1,1056 et par rapport à l'hydrogène 16, c'est-à-dire qu'à volume égal il pèse 16 fois plus que l'hydrogène.

Sa propriété chimique caractéristique, c'est de rallumer les corps qui ne brûlent presque plus et de faire brûler très vivement ceux qui brûlent déjà.

On fait brûler dans l'oxygène du charbon, du soufre ou du phosphore, puis du magnésium et du fer. Dans chacun de ces cas, il y a dégagement de chaleur et de lumière et formation de corps nouveaux différents de ceux qui les ont produits.

On brûle dans l'oxygène des métalloïdes; les produits formés sont des anhydrides quand ils sont secs, et quand ils sont humides des acides qui rougissent la teinture de tournesol, comme le fait le vinaigre.

Les combinaisons des métaux avec l'oxygène portent le nom d'oxydes ou de bases, elles ramènent au bleu le tournesol rougi par un acide.

Pour donner à ces composés des noms qui rappellent leur composition on applique les deux règles suivantes :

Pour les anhydrides et les acides le nom est formé du nom du métalloïde terminé en *ique*, ou parfois en *eux*, le carbone et le phosphore donnent avec l'oxygène les anhydrides et les acides carbonique et phosphorique; le soufre donne l'anhydride et l'acide sulfureux.

Pour les bases, on fait suivre le mot oxyde du nom du métal : ainsi le fer donne l'oxyde de fer.

L'oxygène est l'élément essentiel de la respiration ; c'est lui qui rend le sang rouge et qui provoque la combustion respiratoire dont la chaleur animale est la conséquence.

Pour préparer l'oxygène, on peut décomposer un oxyde par la chaleur, comme l'oxyde de mercure ou le bioxyde de manganèse. Habituellement on décompose le chlorate de potasse, et on recueille le gaz sur la cuve à eau.

Dans l'industrie, on a essayé d'enlever l'oxygène à l'air par différents procédés pour obtenir le gaz à bon marché et l'employer à produire des flammes très chaudes et à activer les foyers plus qu'on ne peut le faire avec l'air.

La combustion est la combinaison d'un corps avec l'oxygène, ou plus généralement encore la combinaison de deux corps.

Elle est vive quand elle est accompagnée d'un fort dégagement de chaleur et d'une production de lumière, comme la combustion du charbon, du soufre, du phosphore, du fer dans l'oxygène ou celle de la bougie, du bois, du gaz dans l'air.

Le corps qui brûle porte le nom de combustible et l'oxygène est le comburant.

La combustion est lente quand elle se fait sans production de lumière et sans dégagement apparent de chaleur. Telle est la combustion du bois dans la terre humide, telle est la rouille du fer.

La rouille du fer, qui se produit lentement à l'air humide, transforme peu à peu le fer en oxyde. On n'y constate pas de chaleur parce que celle-ci, dégagée en petite quantité et peu à peu, se dissipe à mesure (accordingly).

On préserve le fer de l'oxydation en le recouvrant soit d'un autre métal que l'air n'oxyde pas, soit d'une couche d'un corps gras ou d'une peinture qui empêchent l'air d'attaquer la surface.

L'oxydation des métaux, lente à l'air ordinaire, rapide dans l'air chaud, plus rapide encore dans l'oxygène est donc une combustion.

On retire ordinairement l'azote de l'air en absorbant l'oxygène soit par un morceau de phosphore allumé et brûlant dans un air

confiné, soit par le cuivre chauffé sur lequel on fait passer un courant d'air.

Le gaz azote est incolore, sans odeur, ni saveur. Il n'entretient pas la combustion; il ne peut pas servir à la respiration.

L'azote de l'air sert aux plantes, et sous la forme de composés existants dans le fumier et les engrais, il est nécessaire à leur développement.

Les composés azotés sont indispensables aux animaux et doivent entrer en notable partie dans l'alimentation.

L'hydrogène est un gaz incolore et inodore. Il est très léger et pèse 14 fois moins que l'air; le poids du litre n'est que de 89 milligrammes. On prouve facilement cette grande légèreté, notamment en gonflant d'hydrogène des bulles de savon qui s'élèvent comme de petits ballons.

L'hydrogène est très peu soluble dans l'eau. On n'a pu le liquéfier que par l'action combinée d'un froid de 220° au-dessous de zéro et d'une pression de plus de 500 atmosphères.

Il passe facilement au travers des corps poreux, même des métaux chauffés et des enveloppes organiques vernies dans lesquelles on le contient.

C'est le seul gaz qui soit bon conducteur de la chaleur et de l'électricité; cette propriété le fait ranger parmi les métaux malgré son état de gaz; il leur ressemble d'ailleurs par presque tous ses caractères.

L'hydrogène est combustible et brûle à l'air. Il se combine à l'oxygène pour engendrer de l'eau, voilà l'une de ses principales propriétés chimiques.

On réalise la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène libre en la provoquant en un point du mélange des deux gaz par une flamme, ou une étincelle électrique: elle a lieu alors avec une forte détonation qui atteint son maximum quand les deux gaz sont mélangés dans la proportion de deux volumes d'hydrogène pour un d'oxygène.

On fait combiner l'hydrogène avec l'oxygène de l'air en allumant un jet d'hydrogène qui sort dans l'air par un tube effilé. Sa flamme est petite et peu éclairante. Il y a production d'eau en

vapeur que l'on peut recueillir en la condensant sur les parois froides d'un grand verre ou d'une cloche.

La chaleur dégagée est considérable: 1 gramme d'hydrogène en brûlant produit 34 calories.

L'hydrogène peut enlever l'oxygène à certains oxydes, et laisser le métal en produisant de l'eau. On fait l'expérience sur l'oxyde de cuivre. On dit que l'hydrogène est un réducteur, qu'il réduit l'oxyde; il serait plus exact de dire qu'il s'est formé de l'oxyde d'hydrogène ou eau aux dépens de l'oxyde métallique sur lequel on a opéré.

Sa flamme est très chaude. Elle le devient plus encore quand on y insuffle de l'air ou de l'oxygène. Dans ce dernier cas, on emploie le chalumeau à deux tubes concentriques où les deux gaz ne se mélangent qu'à l'extrémité; et on dispose avec cet appareil de la plus haute température que l'on sache produire.

Quand on envoie le jet enflammé du chalumeau contre un morceau de chaux, celui-ci devient incandescent et produit la lumière Drummond dite encore lumière oxhydrique.

On prépare l'hydrogène en attaquant du zinc par l'eau acidulée d'acide sulfurique, ou par de l'acide chlorhydrique. On emploie d'ordinaire un flacon à deux tubulures avec un tube à entonnoir, ou encore un appareil continu formé de deux flacons réunis par la base, l'un contenant le zinc et l'autre l'acide.

On se sert de l'hydrogène pour gonfler les ballons, pour alimenter le chalumeau oxhydrique et produire la lumière Drummond ou une flamme très chaude pour la fusion de certains métaux ou pour la soudure des lames de plomb, sans intermédiaire.

EXERCISE 7.

LE CARBONE, L'ANHYDRIDE CARBONIQUE ET
L'OXYDE DE CARBONE.

charbon = coal or charcoal	noir d'os or noir d'animal = bone
noir de fumée = lampblack	black or animal charcoal
plombagine = graphite	troubler = to cause a turbidity
charbon de bois = wood charcoal	four à chaux = lime kiln
houille or charbon de terre = coal	tirage = draft
tourbe = peat	laveur = gas washing bottle

Les charbons sont des corps différents d'aspect, presque toujours noirs, qui brûlent à l'air en produisant de l'anhydride carbonique. Ce sont des variétés plus ou moins impures d'un corps simple, le carbone. On peut trouver le carbone sous trois états : amorphe comme dans le noir de fumée, graphitoïde comme dans la plombagine ou cristallisé comme dans le diamant. On fait deux groupes de charbons : ceux que l'on trouve dans la terre et que l'on nomme charbons naturels, comme le diamant, le graphite et les charbons minéraux ; ceux que l'on tire de la combustion incomplète des matières organiques, que l'on nomme charbons artificiels et dont les principaux sont le coke et le charbon de bois.

Le diamant est du carbone pur et cristallisé. Il est très dur ; on ne peut le tailler ou l'user qu'en le frottant avec sa poudre. Lorsqu'il est taillé il renvoie la lumière par toutes ses facettes ; il prend ainsi une grande valeur. Chauffé, il se ramollit : il prend de l'oxygène de l'air et produit de l'anhydride carbonique.

Le graphite, abondant en Sibérie, est noir, en lamelles brillantes, onctueux au toucher, tachant les doigts et le papier. Il est peu combustible et bon conducteur de l'électricité. Sous le nom de plombagine il sert surtout à lustrer la fonte et à faire l'âme des crayons.

Les combustibles minéraux qui se trouvent dans la terre sont : l'anhracite, la houille, les lignites et la tourbe.

L'anhracite est dur, riche en carbone, difficile à brûler, mais donnant beaucoup de chaleur quand on le brûle dans un fourneau à vent alimenté par un fort courant d'air.

La houille ou charbon de terre est le charbon minéral le plus employé. Il y en a plusieurs variétés qui se distinguent d'après la manière dont elles se conduisent au feu. Elle sert comme combustible et aussi pour faire le gaz d'éclairage.

Les lignites gardent la forme des bois qui les ont produits par une combustion lente: ils brûlent avec une flamme fumeuse. La tourbe se produit dans les marais desséchés; elle brûle avec une flamme très fumeuse.

Les charbons artificiels sont le coke et le charbon de cornue, le charbon de bois, le noir de fumée et le noir animal.

Le coke est le résidu que laisse la distillation de la houille en vases clos; c'est un charbon poreux, qui brûle sans fumée en produisant beaucoup de chaleur. On le prépare pour les besoins de l'industrie des métaux.

Le charbon de cornue est très dur, difficilement combustible, bon conducteur d'électricité: il sert dans les piles électriques.

Le charbon de bois provient de la combustion incomplète du bois. Quand la combustion a lieu en vases clos, on recueille l'acide pyroligneux contenu dans la fumée et condensé par refroidissement.

Le noir de fumée est un charbon très divisé en poussière noire très légère, obtenu par la combustion des matières résineuses qui donnent beaucoup de fumée. Il est la base de l'encre d'imprimerie.

Le noir d'os ou noir d'animal est le résidu de la calcination des os en vases clos. C'est un charbon très poreux qui possède à un haut degré la propriété d'absorber les couleurs. On l'emploie à la décoloration des liquides sucrés dans la manufacture du sucre. Quand il a servi quelque temps on lui rend ses propriétés en le calcinant.

Le charbon est un combustible, voilà sa principale propriété. Il absorbe les gaz, surtout les gaz solubles, et cette propriété explique son usage comme désinfectant, dans les filtres à eau.

Le carbone se combine à l'oxygène pour donner l'anhydride carbonique; il peut réduire un certain nombre d'oxydes. Il peut se combiner à l'hydrogène et au soufre à haute température.

Le carbone avec l'oxygène donne deux composés: l'anhydride

carbonique et l'oxyde de carbone. Quand on brûle le charbon à l'air le premier gaz se produit; mais il s'en produit aussi un autre invisible, qui vient brûler avec une flamme bleue au-dessus du combustible; ce second gaz est l'oxyde de carbone.

L'anhydride carbonique, incolore et inodore, a une saveur aigrelette quand il est dissout. C'est un gaz lourd, soluble dans l'eau, qui a pu être liquéfié et même solidifié. L'anhydride carbonique pèse environ 2 grammes par litre. Les eaux gazeuses artificielles contiennent le gaz carbonique sous une pression de 6 à 8 atmosphères; elles l'abandonnent presque entièrement à l'air.

On liquéfie l'anhydride carbonique en le comprimant à 50 atmosphères. Quand on ouvre à l'air le récipient contenant l'anhydride liquide, la vaporisation rapide amène un très grand refroidissement, et si l'on fait dégager le gaz dans un vase spirale, le gaz se prend en une neige solide qui est très froide, et qui, mélangée d'éther, abaisse la température jusqu'à près de 100° au-dessous de zéro.

L'anhydride n'entretient ni la combustion ni la vie. Une bougie allumée s'y éteint, et l'air qui contiendrait 20% de gaz carbonique serait irrespirable; l'homme et les animaux y seraient asphyxiés.

L'anhydride carbonique dissous prend les propriétés des acides, mais c'est un acide faible. Combiné aux bases, il donne les sels appelés carbonates. Il est absorbé complètement par la potasse avec laquelle il donne le carbonate de potasse. Il trouble l'eau de chaux en produisant du carbonate de chaux qui se dépose.

L'eau chargée d'anhydride carbonique peut dissoudre du carbonate de chaux et rester limpide. Il y a des eaux naturelles qui contiennent du carbonate de chaux dissous à la faveur de l'anhydride carbonique. Ces eaux, bien que limpides, laissent par évaporation lente à l'air un dépôt pierreux sur les vases ou autour des sources; par ébullition, elles se troublent et abandonnent en dépôt le carbonate de chaux qu'elles contenaient.

L'anhydride carbonique est chassé des carbonates par les acides, même l'acide acétique; il se dégage avec effervescence, et cette réaction donne le moyen de le reconnaître et de distinguer les calcaires des autres pierres.

En passant sur du charbon chauffé, l'anhydride carbonique perd de l'oxygène et se transforme en oxyde de carbone; c'est une réaction qui se passe dans les fours où l'on traite les minerais métalliques.

L'anhydride carbonique se produit dans les fermentations, dans toutes les combustions, dans la respiration de l'homme et des animaux. La quantité n'en augmente pas dans l'air: les végétaux le détruisent; ils le décomposent sous l'influence de la lumière pour fixer le carbone dans leurs tissus. On peut obtenir l'anhydride carbonique en brûlant du charbon à l'air; mais il n'est pas pur. On le recueille dans la décomposition des carbonates par la chaleur et il se dégage des fours à chaux où l'on chauffe le carbonate de chaux. C'est surtout en attaquant le marbre par un acide qu'on le prépare.

L'oxyde de carbone que le charbon donne en brûlant à l'air en même temps que l'anhydride carbonique, est un gaz incolore et inodore. Rien ne révèle sa présence dans l'air. Il est combustible. Il brûle à l'air en donnant de l'anhydride carbonique, et en dégageant de la chaleur. Quand il peut agir sur des oxydes chauffés, il réduit ces oxydes en leur prenant de l'oxygène, aussi est-il employé dans la métallurgie.

Il est très vénéneux. L'air qui en contient seulement 3 centièmes est asphyxiant. Il faut éviter avec grand soin toutes les causes qui peuvent le produire, n'allumer du charbon que sous une cheminée à bon tirage, ne pas laisser rougir les parois des poêles à combustion lente.

On obtient l'oxyde de carbone en décomposant par l'acide sulfurique soit l'acide formique, soit l'acide oxalique; dans ce dernier cas il faut un laveur contenant de la potasse pour retenir l'anhydride carbonique.

EXERCISE 8.

LOIS DES COMBINAISONS—SYMBOLES—NOMENCLATURE.

loi = law	acide sulfhydrique = hydrosulfuric acid
donner lieu = to give rise to	acide iodhydrique = hydriodic acid
composant = component	chaux vive = quicklime
corps réagissant = reacting body	sel = salt
rapport simple = simple ratio	azotite de potassium = potassium nitrite
avoir lieu = to take place	azotate de sodium = sodium nitrate
figurer = to express, to represent	recueillir = to collect
l'ensemble = the whole, the sum total	
suivre = to follow	
acide chlorhydrique = hydrochloric acid	

La combinaison est un phénomène chimique qui donne lieu à un corps nouveau, différent de ses composants; elle dégage d'ordinaire de la chaleur et elle ne peut se faire qu'entre des proportions déterminées des corps réagissants.

La première loi suivant laquelle se font les combinaisons est la loi des poids appelée encore loi de Lavoisier: le poids d'un composé est toujours égal à la somme des poids des éléments qui y entrent. Cette loi est très générale; Lavoisier l'a formulée en disant: rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.

La deuxième loi est dite loi des proportions définies ou de Proust; deux ou trois corps, pour former un même composé, se combinent toujours dans les mêmes proportions. Quelle que soit¹ la quantité d'oxygène que l'on mette en présence d'un poids donné d'hydrogène, les deux corps se combineront toujours dans la proportion de 8 du premier pour un du second.

La troisième loi est dite loi des proportions multiples ou de Dalton. Un même corps peut donner avec un autre plusieurs combinaisons différentes et les poids de l'un qui se combinent à un même poids de l'autre sont entre eux dans des rapports simples ou autrement dit, ces poids sont des multiples simples de l'un d'entre eux. L'un des exemples les plus complets est celui de l'azote et de l'oxygène qui offre six combinaisons: un même poids d'azote (28 grammes) se combine avec une fois, 2, 3, 4, 5 et 6 fois

¹Quelle que soit = whatever may be.

16 grammes d'oxygène; ou bien les poids d'oxygène qui se combinent avec un même poids d'azote sont entre eux comme, 1, 2, 3, 4, 5 et 6. Ces rapports de poids, suivant lesquels ont lieu les combinaisons, ont reçu le nom de nombres proportionnels, et même le nom moins général d'équivalents.

A ces lois des poids vient s'ajouter la loi des combinaisons gazeuses en volumes appelée aussi loi de Gay-Lussac et dont voici l'énoncé: les volumes de deux gaz qui se combinent sont entre eux dans un rapport simple et le volume du composé est dans un rapport simple avec les volumes des composants. Cette loi est fort importante et elle donne un moyen simple de formuler les combinaisons des gaz. 1 volume d'hydrogène avec 1 volume de chlore donnent 2 volumes de gaz chlorhydrique. 2 volumes d'hydrogène avec 1 volume d'oxygène donnent 2 volumes d'eau en gaz. 3 volumes d'hydrogène avec 1 volume d'azote donnent 2 volumes de gaz ammoniac. Tels sont les exemples les plus saillants des combinaisons gazeuses et auxquels se rapportent presque tous les autres.

Le dégagement ou l'absorption de chaleur, autrement dit, les phénomènes thermiques qui accompagnent les combinaisons sont fort importants à étudier, parce qu'on y considère la chaleur comme représentant un travail effectué entre les molécules des corps. On a donné à cette partie de la chimie le nom de mécanique chimique ou encore celui de thermo-chimie. Elle a été développée, en France, par les beaux travaux de M. Berthelot.

Berthelot a formulé trois principes sur les rapports de la chaleur et du travail dans les réactions chimiques: le premier exprime que la chaleur est la représentation à la fois des travaux physiques tels que changements d'état, dilatation, etc., et des travaux chimiques entre les molécules des corps. Le deuxième montre qu'entre un état initial et un état final donné, peu importe ce qu'aient été¹ les intermédiaires, la quantité de chaleur produite ou absorbée est la même. Enfin le troisième, en posant la question du travail maximum, permet de prévoir la réaction qui aura lieu entre plusieurs corps si l'on connaît les quantités

¹ peu importe ce qu'aient été = no matter what may have been.

de chaleur dégagées dans chacun des cas: en général, c'est la réaction qui dégage le plus de chaleur qui se produit.

En chimie, on représente les corps simples et les corps composés par des symboles qui facilitent l'écriture et qui figurent plus commodément les réactions. Les symboles des corps simples sont le plus souvent formés de la première lettre du nom du corps, O (oxygène), H(hydrogène) ou des deux premières lettres ou de deux autres lettres quand plusieurs corps commencent par la même: C(carbone), Cl(chlore), Pb(plomb), Pt(platine), Az(azote), Ag(argent).

Les symboles des corps composés sont formés des symboles des éléments qui y entrent, écrits à la suite l'un de l'autre. Pour que ces symboles représentent non pas seulement le corps qu'ils désignent, mais un poids déterminé de ce corps, le poids qui entre dans les combinaisons, il faut choisir un système de nombres ou de poids proportionnels.

Les symboles des corps composés sont formés de ceux des corps qui y entrent, mais si un corps simple y entre en plusieurs proportions, on le munit d'un exposant qui l'indique. C'est ainsi que le symbole de l'eau H_2O révèle que 2 volumes d'hydrogène se sont unis à 1 volume d'oxygène.

La nomenclature chimique est l'ensemble des règles que l'on suit pour donner aux corps des noms qui rappellent leur composition ou leurs propriétés. Elle a été établie à la fin du siècle dernier sur l'initiative de Guyton de Morveau, et elle n'a subi depuis que les modifications rendues nécessaires par les progrès de la chimie.

On n'a pas suivi de règle fixe pour nommer les corps simples; mais on en a établi de très précises pour un grand nombre de corps composés. Pour les corps binaires formés d'un métalloïde et d'un métal, le premier nom est celui du métalloïde terminé en *ure* et suivi du nom du métal; exemple: chlorure de plomb, sulfure de fer. Et quand il y a plusieurs composés, ils sont désignés par le même nom avec les préfixes proto, sesqui, bi, tri, tetra, penta, etc.

Pour deux métalloïdes, l'un est terminé en *ure* et c'est celui

du métalloïde qui se trouve avant l'autre dans le tableau de ces corps par famille.

Les composés binaires oxygénés forment à part une classe très nombreuse et très importante; on y trouve les anhydrides et les oxydes. Un anhydride procède généralement de la combinaison d'un métalloïde avec l'oxygène; il peut donner un acide en prenant de l'eau. Pour le dénommer, on termine en *ique* ou en *eux* le nom du métalloïde précédé du mot anhydride; c'est ainsi que l'on a avec le soufre l'anhydride sulfureux et l'anhydride sulfurique, avec le carbone l'anhydrique carbonique, etc. Et ces deux formes de noms peuvent être précédées des particules *hypo* ou *hyper* ou *per*.

Les oxydes sont formés des métaux et de l'oxygène et ont pour nom le mot oxyde suivi du nom du métal: oxyde de fer, oxyde de cuivre, etc. Peut-être vaudrait-il mieux¹ leur appliquer les mêmes terminaisons qu'aux anhydrides et dire oxide ferreux et oxyde ferrique au lieu de dire protoxyde et sesquioxyde de fer.

Les composés binaires hydrogénés ne sont pas tous nommés d'après la règle générale: ceux qui sont acides ont au nom du métalloïde la terminaison hydrique, tels sont les acides chlorhydrique, sulfhydrique, iodhydrique.

Les composés ternaires, formés de trois corps, comprennent trois groupes: les acides, les bases et les sels. Les acides sont des anhydrides sur lesquels l'eau a agi et qui ont par suite de l'hydrogène dans leur molécule. Ils ont les mêmes noms que les anhydrides avec des symboles un peu différents; ainsi l'anhydride azotique est Az_2O_5 et l'acide AzO_5H .

Les bases sont des oxydes ayant pris de l'eau, comme la chaux hydratée $CaO.H_2O$ qui diffère de la chaux vive dont le symbole est CaO .

Les sels ressemblent aux acides dont l'hydrogène a été remplacé par un métal. Leur nom se compose du nom de l'acide avec *ate* au lieu de *ique* et *ite* au lieu de *eux*, puis le nom du métal; tels sont l'azotite de potassium, l'azotate de sodium, le sulfite et le sulfate de potassium.

Les formules des corps représentent les poids ou les volumes

¹ Peut-être vaudrait-il mieux = It might perhaps be better.

qui se combinent. Comme rien ne se perd, on peut écrire qu'il y a égalité entre les corps réagissants avec leurs poids et les corps produits tous recueillis et pesés. On écrit donc une égalité chimique sous laquelle on lit que les poids d'avant l'expérience doivent égaier les poids divers trouvés après l'expérience faite. Et ces égalités qui figurent les réactions chimiques permettent de résoudre tous les problèmes numériques concernant la préparation des corps.

EXERCISE 9.

L'AMMONIAQUE ET LES COMPOSÉS OXYGÉNÉS DE L'AZOTE.

caractériser = to identify

réactif = reagent

acide azotique fumant = fuming

nitric acid

acide étendu = dilute acide

eau régale = aqua regia

essence de térébenthine = turpentine

coton-poudre = guncotton

cuve à eau = pneumatic trough

L'ammoniaque est un corps composé de l'azote et de l'hydrogène. C'est un gaz incolore, d'une odeur vive qui provoque les larmes. Ce gaz est très soluble dans l'eau; un litre d'eau peut dissoudre de 7 à 800 litres de gaz. On a pu liquéfier le gaz ammoniac à la température ordinaire en le comprimant à une pression de quelques atmosphères. Le liquide obtenu tend à repasser à l'état de gaz, et dans sa vaporisation rapide il absorbe beaucoup de chaleur. Il a été employé comme moyen de refroidissement dans l'appareil Carré à produire la glace.

La chaleur et l'électricité décomposent l'ammoniaque et doublent son volume; le mélange formé d'un volume d'azote et de deux volumes d'hydrogène se condense donc en deux volumes quand les deux gaz se combinent. L'ammoniaque ne brûle pas; mais ce corps peut prendre de l'oxygène, et dans la combinaison qu'il réalise ainsi, il brûle comme un corps combustible. Le plus souvent il se forme un corps oxygéné de l'azote tel que l'acide azotique.

L'ammoniaque est une base forte qui bleuit le tournesol et qui se combine aux acides avec dégagement de chaleur et production de sels qui peuvent cristalliser. On réalise par simple mélange

la combinaison de l'ammoniaque avec l'acide azotique ou avec l'acide sulfurique; l'évaporation des solutions mélangées donne des sels. La combinaison avec l'acide chlorhydrique a déjà lieu entre les deux corps gazeux; elle donne un moyen de les caractériser l'un par l'autre.

Quand l'ammoniaque se combine aux acides, elle a déjà pris une molécule d'eau; ce n'est pas le corps AzH_3 , c'est un composé AzH_4OH comparable à la potasse KOH et dans lequel un corps composé AzH_4 joue le même rôle qu'un métal comme le potassium. A ce composé on a donné le nom d'ammonium.

L'ammoniaque existe en petites quantités dans l'air. Elle se forme dans la putréfaction des matières organiques et dans leur décomposition lente ou rapide. Pour l'obtenir, on chauffe un sel ammoniacal avec de la chaux; l'ammoniaque mise en liberté se dégage à l'état de gaz. On recueille ce gaz sur le mercure; ou bien on l'envoie se dissoudre dans l'eau pour donner l'alcali volatil ordinaire.

Dans les laboratoires c'est le chlorhydrate d'ammoniaque ou le chlorure d'ammonium qu'on distille avec la chaux. Dans l'industrie c'est l'eau d'épuration du gaz d'éclairage que l'on emploie.

L'ammoniaque en solution sert de réactif; l'industrie l'utilise dans la préparation de certaines couleurs.

L'azote et l'oxygène donnent six composés: le protoxyde d'azote Az_2O , le bioxyde Az_2O_2 , l'anhydride azoteux Az_2O_3 , le peroxyde d'azote Az_2O_4 , l'anhydride azotique Az_2O_5 , l'anhydride perazotique Az_2O_6 .

Ils vérifient la loi des proportions multiples: un même poids d'azote, 28 grammes, se combine avec 1 fois 16 grammes, 2 fois, 3 fois, 4 fois, 5 fois et six fois 16 grammes d'oxygène. Tous ces corps sont formés avec absorption de chaleur; ils se décomposent en cédant de l'oxygène.

Trois d'entre eux donnent avec l'eau des acides: l'acide hypoazoteux $AzOH$ ou $Az_2O_2H_2$, l'acide azoteux AzO_2H et l'acide azotique AzO_3H . Ce dernier est le plus important; il est le générateur de tous les autres.

L'anhydride azotique n'a pas d'usage, mais l'acide azotique fumant est très important par ses réactions et ses usages. L'acide

ordinaire appelé aussi acide nitrique ou eau-forte est facile à décomposer; il cède facilement de l'oxygène; il est oxydant en plusieurs circonstances. Il oxyde les métalloïdes comme le soufre, le phosphore, le charbon. Il cède de l'oxygène à l'acide sulfureux pour le transformer en acide sulfurique, en même temps qu'il donne des vapeurs rutilantes. Il oxyde les métaux. L'hydrogène le décompose et après lui avoir pris l'oxygène pour former l'eau, il se combine avec l'azote pour donner de l'ammoniaque. Les autres métaux, à l'exception de l'or, de l'aluminium et du platine donnent des oxydes et des azotates: l'étain se transforme en oxyde; le cuivre, le plomb et l'argent se transforment en azotates. Le fer n'est pas attaqué par l'acide fumant, mais il l'est vivement par l'acide étendu. Le mélange d'acide chlorhydrique et d'acide azotique constitue l'eau régale qui peut dissoudre l'or, par le chlore et les composés d'azote et de chlore qui sont dégagés.

L'acide azotique attaque presque toutes les matières organiques, il enflamme l'essence de térébenthine, il forme le coton-poudre, les produits explosifs comme la nitro-glycérine; il colore la peau et désorganise les tissus. Il sert à préparer l'acide sulfurique, les azotates, les explosifs, beaucoup de produits organiques colorés, à graver le cuivre.

On ne le trouve pas souvent libre dans la nature, bien qu'il puisse se former par la combinaison de l'azote avec l'oxygène de l'air, mais on le trouve à l'état d'azotates, comme le salpêtre de l'Égypte et de l'Inde et le nitre du Chili. On le tire du salpêtre par l'action de l'acide sulfurique, en chauffant le mélange; les vapeurs d'acide azotique refroidies se condensent en un liquide fumant.

Le peroxyde d'azote AzO_2 ou Az_2O_4 se forme en gaz dans l'attaque de l'acide azotique par les métaux. On l'obtient liquide en décomposant l'azotate de plomb par la chaleur et en refroidissant les vapeurs qui se dégagent.

L'acide azoteux n'est intéressant que par les sels métalliques qu'il donne et qui ont le nom d'azotites. Celui d'ammonium, décomposé par la chaleur, dégage de l'azote pur. On obtient l'acide azoteux par le dédoublement du peroxyde d'azote en acide

azoteux et acide azotique au contact de l'eau à 0°. Pour cela on laisse tomber goutte à goutte le peroxyde d'azote froid dans de l'eau à 0° ; il se produit de l'acide azoteux, liquide bleu qui tombe au fond de l'eau ; celle-ci dissout l'acide azotique formé et reste incolore. La dissolution étendue d'acide azoteux est assez stable pour qu'on puisse la chauffer sans la décomposer. Elle joue le rôle de corps oxydant vis-à-vis des composés oxydables, comme l'acide sulfureux et les sels ferreux ; elle oxyde l'iodure de potassium en donnant de la potasse et de l'iode. Elle est, au contraire, réductrice, quand on la fait agir sur les corps qui cèdent facilement leur oxygène : ainsi elle réduit les sels d'or et les sels de mercure en mettant le métal en liberté.

Les azotites prennent naissance dans la décomposition incomplète des azotates alcalins. L'azotate de sodium chauffé à sa température de fusion avec du plomb, et agité fréquemment dans un creuset, donne de l'azotite de sodium et de l'oxyde de plomb. La masse dissoute dans l'eau est traitée par un courant de gaz carbonique pour précipiter le plomb, puis évaporée à sec ; l'azotite formé est séparé de l'azotate non décomposé par l'alcool, qui ne dissout que l'azotite.

Le protoxyde d'azote ou oxyde azoteux Az_2O est un gaz incolore, inodore et d'une saveur sucrée. Il ne se combine avec l'oxygène ni à froid ni au rouge sombre. Il n'oxyde à froid aucun corps oxydable. Les corps combustibles le décomposent au rouge et, s'emparant de son oxygène, mettent l'azote en liberté. Le potassium chauffé dans ce gaz s'y enflamme. Il sert comme anesthésique sous le nom de gaz hilarant. Pour cela il faut qu'il soit pur, car mêlé à de petites quantités d'oxyde azotique ou de peroxyde d'azote, il devient dangereux à respirer.

EXERCISE 10.

LE PHOSPHORE ET SES COMPOSÉS.

odeur d'ail = garlic odor	os = bone
raier par l'ongle = to scratch	cendre d'os = bone-ash
fondre = to melt	laitance des poissons = fish-roe
à l'abri de = out of contact of,	cendre = ash
sheltered from	en couronnes = in the form of
luire = to glow, to shine	rings
saillant = most pronounced	se dissoudre = to dissolve
pellicule = layer	sulfure de carbone = carbon bi-
s'échauffer = to become heated	sulfide
véneux = toxic	

Le phosphore est un solide jaune, à l'odeur d'ail qui se laisse rayer par l'ongle. Il fond à 44° et peut être facilement obtenu liquide quand on le jette dans de l'eau un peu chaude. Il peut être distillé, mais seulement à l'abri de l'oxygène.

Il n'est pas soluble dans l'eau, bien qu'il lui donne la propriété de luire dans l'obscurité. Il se dissout très bien dans le sulfure de carbone et l'évaporation de la solution le donne en cristaux.

Sa propriété saillante c'est d'être un corps très inflammable, il prend feu à 60° ou quand on le touche avec un corps chaud, ou encore par le frottement. En mince pellicule il prend feu spontanément à l'air.

Exposé à l'air il répand des vapeurs blanches et s'échauffe. Dans l'oxygène il brûle avec une flamme très vive quand il a été allumé en un point: il donne des vapeurs blanches d'anhydride phosphorique. On peut le faire brûler sous l'eau quand on lui envoie de l'oxygène, mais il faut qu'il soit très divisé et qu'on le maintienne fondu dans de l'eau à 50°.

Il se combine au chlore: aussi il s'enflamme quand on le descend dans un flacon de chlore. Il est vivement attaqué par l'acide azotique qui le transforme en acide phosphorique en dégageant d'abondantes vapeurs rutilantes. Il luit dans l'obscurité, probablement parce qu'il se combine à l'oxygène de l'air; on a remarqué en effet que la phosphorescence n'a pas lieu dans les gaz qui ne contiennent pas d'oxygène libre.

Le phosphore blanc n'est pas la seule variété: il y a aussi le

phosphore rouge qui diffère du premier non pas seulement par la couleur, mais aussi par toutes les propriétés. Le phosphore rouge ne peut pas cristalliser; de là son nom de phosphore amorphe; il est moins fusible, moins attaquant par l'acide azotique et il n'est pas vénéneux.

Son principal usage c'est la fabrication des allumettes. Celles-ci sont de deux sortes, suivant que le phosphore est ordinaire ou amorphe. Les allumettes au phosphore ordinaire sont des bouts de bois secs garnis de soufre et, par-dessus, d'une pâte gommée contenant du phosphore et colorée. Le frottement contre une surface rugueuse suffit à les enflammer: le phosphore prend feu, allume le soufre qui allume à son tour le bois. Les allumettes au phosphore amorphe portent une pâte formée de corps facilement combustibles; c'est le couvercle de la boîte qui porte la pâte phosphorée, et il faut frotter l'allumette contre la surface garnie de cette pâte pour en détacher une parcelle de phosphore qui s'enflamme par frottement et qui met le feu au soufre ou à la paraffine et ensuite au bois.

Le phosphore existe à l'état de phosphates dans certains terrains, dans les os, le cerveau, l'urine de l'homme et des animaux, dans la laitance des poissons. C'est de la cendre d'os calcinés qu'on l'extrait: on le fait dégager en vapeurs que l'on condense dans l'eau sans qu'elles aient eu le contact de l'air.¹ On le purifie par une filtration mécanique et on le moule en le tenant fondu sous l'eau avant de le laisser refroidir.

C'est Brandt qui a découvert le phosphore en calcinant l'extrait sec de l'urine. C'est Gahn et Scheele qui ont les premiers signalé sa présence dans les os et qui ont indiqué le mode d'extraction qui est encore suivi. Composés hydrogénés du phosphore.—Le phosphore et l'hydrogène ne se combinent pas directement, mais on connaît cependant trois phosphures d'hydrogène, un solide, un liquide et un gazeux. Ce dernier est le plus connu sous le nom d'hydrogène phosphoré.

Pour préparer le phosphure d'hydrogène spontanément inflammable, on fait, avec de la chaux éteinte et un peu d'eau, des

¹ Sans qu'elles aient eu le contact de l'air = without their having come in contact with the air.

boulettes, au centre desquelles on introduit un fragment de phosphore blanc. Ces boulettes sont mises dans un petit ballon qu'on achève de remplir avec de la chaux éteinte, afin qu'il y reste le moins d'air possible. Au lieu de boulettes, on peut mettre dans le ballon une bouille épaisse faite avec de la chaux éteinte et un peu d'eau, et à laquelle on a ajouté 1/10 de son poids de phosphore coupé en très petits fragments. On adapte ensuite un tube à dégagement, et on chauffe lentement. Le phosphore décompose l'eau; l'oxygène se combinant avec une partie du phosphore donne de l'acide hypophosphoreux, et l'hydrogène forme de l'hydrogène phosphoré avec une autre partie du phosphore. Les premières bulles s'enflamment dans le ballon. On attend que l'inflammation ne se produise plus qu'à l'extrémité du tube abducteur; on plonge ensuite celui-ci dans l'eau, et on recueille le gaz dans des éprouvettes.

Le gaz ainsi obtenu est spontanément inflammable, parce qu'il contient de la vapeur de phosphore liquide. Il y a, de plus, dans ce gaz, de l'hydrogène libre provenant d'une troisième réaction du phosphore sur l'eau en présence de la chaux.

On peut encore obtenir de l'hydrogène phosphoré spontanément inflammable en décomposant par l'eau le phosphore de calcium. Ce phosphore de calcium s'obtient soit en réduisant au four électrique le phosphate de calcium par le charbon (Moissan), soit en enflammant un mélange de phosphate de calcium et d'aluminium en poudre (MM. Matignon et Trannoy). Ce phosphore donne au contact de l'eau du phosphore d'hydrogène non inflammable, souvent mêlé d'hydrogène.

Le phosphore donne avec l'oxygène plusieurs composés; le principal est l'anhydride phosphorique qui se produit en vapeurs blanches et se dépose en poudre blanche quand on brûle du phosphore dans l'oxygène ou dans l'air sec. Ce corps se forme avec dégagement de chaleur; il dégage aussi de la chaleur quand il se dissout dans l'eau. Il forme avec l'eau plusieurs hydrates dont le plus important est l'acide phosphorique ordinaire. On prépare directement cet acide phosphorique ordinaire en chauffant le phosphore dans de l'acide azotique étendu.

Dans l'industrie on extrait l'acide phosphorique des os. Les os

sont dissous dans leur poids d'acide chlorhydrique étendu de 4 fois son poids d'eau. La solution limpide obtenue est additionnée d'une dissolution bouillante contenant un poids de sulfate de sodium anhydre égal à 1 fois et demie le poids des os employés; il se précipite du sulfate de calcium que l'on sépare. En neutralisant la liqueur avec du carbonate de sodium, la chaux restée en dissolution se précipite à l'état de phosphate tricalcique. Le précipité, bien lavé, est mis à digérer avec un poids équivalent d'acide sulfurique étendu. On sépare le sulfate de calcium par filtration et l'on concentre la dissolution d'acide phosphorique.

Outre l'acide phosphorique ordinaire il y en a deux autres: l'acide pyrophosphorique, qui donne avec les métaux les pyrophosphates, et l'acide métaphosphorique qui, avec les métaux, donne les métaphosphates.

Le phosphate de calcium se rencontre sous deux états, en nodules dans certaines contrées, puis provenant de la cendre d'os. Il est insoluble et ne peut, sous cette forme, servir d'engrais rapide dans son action. Mais quand on fait agir sur lui l'acide sulfurique, il devient en partie soluble; le mélange qui contient du phosphate acide et du plâtre prend le nom de superphosphate et constitue un engrais très actif.

EXERCISE II.

LE SOUFRE ET SES COMPOSÉS.

le soufre = sulphur
 état natif = native state
 le raffinage = refining
 fleur de soufre = flowers of sulphur
 soufre en canons = roll sulphur or brimstone
 jaune citron = lemon yellow
 insipide = tasteless
 inodore = odorless
 s'épaissir = to become thick
 refroidissement = cooling
 sulfure de carbone = carbon bisulphide
 état brut = raw state
 soufre raffiné = refined sulphur
 ramollir = to soften
 acide étendu = dilute acide
 nuire à = to hinder
 eau bouillie = boiled water
 garder telles = to keep as such
 comprendre = to include

blanchiment = bleaching
 huileux, huileuse = oily
 huile = oil
 charbonner = to carbonize
 agir sur = to act upon, to react with
 four = oven
 grillage = roasting
 procédé de contact = contact process
 débarrasser par lavage = to free by washing
 mousse de platine = platinum sponge
 mettre hors d'usage = to render useless
 amiante platinée = platinized asbestos
 régler = to regulate
 grâce à = thanks to, on account of
 fécule = potato starch

Le soufre est un corps solide jaune très répandu dans la nature, où on le trouve soit à l'état natif comme en Sicile, soit combiné avec les métaux. On l'extrait des dépôts où il se rencontre à l'état natif, et de la pyrite (bisulfide de fer). Pendant le raffinage du soufre on l'obtient sous forme de poussière fine qu'on appelle fleur de soufre, ou encore à l'état liquide; ce liquide est ensuite versé dans des moules coniques et on obtient ainsi le soufre en canons.

A la température ordinaire le soufre est solide, d'une couleur jaune citron, insipide et inodore. Il acquiert par le frottement l'odeur particulière des corps électrisés. Il est mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il fond à 110° en un liquide jaune. A 220° il s'épaissit et brunit; à 330° il redevient liquide en restant brun; à 440° il passe en vapeur rouge. Le re-

froidissement lent et graduel le fait repasser par tous les états précédents.

Le soufre est insoluble dans l'eau et peu soluble dans l'alcool ; mais il se dissout facilement dans la benzine, dans les huiles essentielles et surtout dans le sulfure de carbone.

Le soufre peut exister à l'état amorphe ou à l'état cristallisé, et comme il peut prendre deux formes différentes dans sa cristallisation, il est donc polymorphe.

En France, la consommation annuelle du soufre est de plus de 40 millions de kilogrammes. Une grande partie de ce soufre est employée à l'état brut pour la fabrication de l'acide sulfureux, de l'acide sulfurique et du sulfure de carbone dont la consommation croît journellement. On emploie le soufre raffiné dans la fabrication des allumettes, pour vulcaniser le caoutchouc qui conserve alors son élasticité sans se ramollir sous l'influence de la chaleur. En médecine, on l'emploie avec succès pour faire des pommades contre les maladies de la peau, et des pastilles contre les maladies de la gorge. Il sert aussi à prendre des empreintes de médailles et même de gravures, et à sceller le fer dans la pierre.

Le soufre brûle dans l'oxygène et à l'air avec une flamme bleue en produisant un composé gazeux, l'anhydride sulfureux. Dans toutes ses autres réactions il ressemble à l'oxygène. De même que¹ celui-ci donne avec les métaux des oxydes et avec l'hydrogène l'eau, de même le soufre donne avec les métaux des sulfures et avec l'hydrogène le sulfure d'hydrogène appelé encore acide sulfhydrique.

L'acide sulfhydrique se forme dans les décompositions des matières organiques animales. On le trouve dans certaines eaux dites sulfureuses. Pour le préparer dans les laboratoires, on décompose le sulfure de fer artificiel FeS par un acide étendu, l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique. Le gaz ainsi préparé contient toujours un peu d'hydrogène, parce qu'il y a toujours un peu de fer libre dans le sulfure de fer obtenu en chauffant un mélange à poids égaux de soufre en fleur et de fer en limaille. Mais la présence d'un peu d'hydrogène ne nuit généralement pas aux réactions de l'acide sulfhydrique, notamment dans son emploi

¹ De même que . . . , de même = as . . . , so.

pour l'analyse des sels. Si l'on veut obtenir de l'acide sulfhydrique, parfaitement pur, on se sert de sulfure d'antimoine naturel qu'on chauffe avec de l'acide chlorhydrique concentré.

La dissolution d'acide sulfhydrique est constamment utilisée dans les laboratoires; on l'obtient en faisant passer un courant de ce gaz dans l'appareil de Woulf, dont les flacons doivent contenir de l'eau bouillie, bien privée d'air.

L'acide sulfhydrique est un gaz incolore, d'une odeur fétide, rappelant celles des œufs pourris. Il est peu soluble dans l'eau, 1 litre en dissolvant seulement 31, 25 à la température de 15°. L'alcool en dissout près de 18 fois son volume à 0°, et 12 fois son volume à 10°. C'est un acide faible, donnant des sels appelés sulfures. Il est combustible et brûle avec une flamme bleue quand on l'allume. Quand la combustion est complète il y a production d'eau et d'acide sulfureux. Quand l'air est en quantité insuffisante, c'est l'hydrogène qui brûle le premier et le soufre se dépose. Cette combustion incomplète a lieu quand le gaz est dissous dans l'eau, si celle-ci contient de l'air; alors le liquide blanchit par le dépôt de soufre. Les solutions que l'on veut avoir limpides et garder telles doivent être faites dans l'eau bouillie. En présence des corps poreux l'acide sulfhydrique s'oxyde très complètement et peut donner de l'acide sulfurique.

Beaucoup de corps simples, métalloïdes ou métaux, décomposent l'acide sulfhydrique; les uns lui prennent l'hydrogène, comme l'iode, et mettent le soufre en liberté; les autres, comme le plomb ou l'étain, lui prennent le soufre pour donner des sulfures et laissent l'hydrogène. Les dissolutions métalliques des métaux comme le plomb, l'étain, etc., sont attaquées par l'acide sulfhydrique avec production de sulfures.

Lorsqu'on brûle du soufre à l'air, il se produit un gaz qui est l'anhydride sulfureux, et qui peut être considéré comme le point de départ des composés oxygénés du soufre. Ces composés oxygénés comprennent trois anhydrides: l'anhydride sulfureux SO_2 , l'anhydride sulfurique SO_3 , et l'anhydride persulfurique S_2O_7 . Ils comprennent en outre plusieurs acides qui ont de l'hydrogène à échanger contre les métaux pour donner des sels; les deux plus

importants sont l'acide sulfureux SO_2H_2 et l'acide sulfurique SO_3H_2 .

L'anhydride sulfureux se présente en gaz ou en dissolution. En gaz, c'est l'anhydride SO_2 qui provoque la toux, qui est très soluble dans l'eau, qu'on peut liquéfier à 10° au-dessous de zéro. Le gaz sulfureux ne brûle pas; il éteint les gaz en combustion. Il peut néanmoins prendre de l'oxygène et dégager de la chaleur dans cette combinaison, en donnant l'anhydride sulfurique.

La dissolution du gaz, ou l'acide sulfureux liquide, est un réducteur puissant; il peut enlever l'oxygène à certains oxydes comme le bioxyde de plomb, et aussi aux composés de l'azote; c'est cette dernière réaction qui est utilisée dans la production de l'acide sulfurique. On peut facilement montrer le pouvoir réducteur du gaz sulfureux en lui faisant décolorer du permanganate de potasse; la décoloration est instantanée. L'anhydride sulfureux est employé au blanchiment de la laine, de la soie, des plumes, de la paille, des éponges, de la colle de poisson, etc. Il détruit aussi les germes organisés qui sont sur les substances organiques les agents de la putréfaction. L'anhydride sulfureux, absorbé par un lait de chaux, donne le bisulfite de calcium employé pour la décoloration des jus sucrés, la préparation des pâtes de bois et de paille destinées à la fabrication du papier.

Quand on brûle le soufre à l'air, on obtient de l'anhydride sulfureux, mais le gaz reste mélangé d'azote. Ce procédé ne peut pas servir dans les laboratoires, mais l'industrie du blanchiment de la laine l'emploie. On obtient l'anhydride sulfureux pur en désoxydant l'acide sulfurique. On emploie pour cela soit du mercure, soit du cuivre.

L'acide sulfurique se présente sous trois formes: l'acide anhydre SO_3 , l'acide ordinaire SO_3H_2 , et l'acide de Nordhausen ou fumant qui est un mélange des deux premiers.

L'acide fumant est obtenu par la distillation sèche du vitriol vert ou sulfate de fer desséché et dont le résidu est le colcotar. Aujourd'hui, on l'obtient en produisant de l'acide anhydre qu'on envoie se dissoudre dans l'acide ordinaire. Il sert à la fabrication des produits organiques nitrés comme le celluloid, ou de certaines couleurs comme l'alizarine.

L'acide sulfurique ordinaire ou monohydraté est un liquide lourd, d'apparence huileuse, appelé parfois huile de vitriol. C'est un acide très énergique; il en faut bien peu¹ dans l'eau pour que la solution rougisse le tournesol. Il se combine à l'eau avec un grand dégagement de chaleur; aussi recommande-t-on de verser toujours l'acide dans l'eau en agitant, et jamais l'eau dans l'acide. Il enlève l'eau aux corps, aussi est-il employé comme dessiccateur. Il charbonne le bois, et en général, les matières organiques.. Il brunit quand on le laisse dans des flacons ouverts parce qu'il carbonise les poussières de l'air qui s'y mélangent.

Les métalloïdes qui peuvent s'unir à l'oxygène le désoxydent en produisant de l'anhydride sulfureux; telle est évidemment l'action du charbon et du soufre qui, chauffés avec l'acide sulfurique, font dégager de l'anhydride sulfureux. Les métaux agissent sur l'acide sulfurique et produisent des sulfates. Avec les uns, comme le fer et le zinc, il faut employer un acide étendu et il se dégage de l'hydrogène (c'est ainsi qu'on produit ordinairement l'hydrogène en attaquant le zinc par l'acide sulfurique). Avec les autres, comme le plomb, le cuivre, l'argent, c'est l'acide concentré qu'il faut employer, et c'est de l'anhydride sulfureux qui se dégage.

L'acide sulfurique agit sur les oxydes. Avec la baryte, le dégagement de chaleur rend le produit incandescent. Avec les oxydes dissous, comme la potasse ou la soude, il y a une neutralisation et la formation d'un sel qu'on peut faire cristalliser de sa solution. Avec les chlorures, il y a échange d'un métal contre l'hydrogène, dégagement d'acide chlorhydrique et formation de sulfates.

Les sulfates formés par l'action de l'acide sulfurique sur les métaux, les oxydes ou les sels sont de deux ordres, suivant qu'un ou deux atomes d'hydrogène de l'acide sont remplacés par les métaux: on a donc des bisulfates et des sulfates.

L'acide sulfurique peut être formé si l'on fixe de l'oxygène et de l'eau à la molécule de l'anhydride sulfureux. L'industrie le fabrique en très grande quantité en utilisant cette réaction. L'anhydride sulfureux est produit dans des fours et provient du

¹ il en faut bien peu = very little is needed.

grillage des pyrites de fer. On produit en même temps de l'acide azotique. Les gaz sont envoyés dans des chambres de plomb très spacieuses, avec de la vapeur d'eau et de l'air, et les réactions s'effectuent pour produire l'acide sulfurique. Le liquide obtenu dans les chambres est concentré, d'abord dans des vases de plomb, puis dans des vases de platine, et il est livré au commerce marquant 66° à l'aréomètre de Beaumé.

Aujourd'hui, on produit aussi l'acide sulphurique par le procédé de contact qui consiste à employer un mélange d'air et d'anhydride sulfureux provenant du grillage des pyrites, et bien débarrassé par lavage des impuretés et des poussières (composés de l'arsenic, du phosphore, du mercure, etc.) susceptibles d'agir chimiquement ou mécaniquement sur la mousse de platine et de la mettre hors d'usage au bout de peu de temps. Le mélange d'air et d'anhydride sulfureux ainsi purifié et desséché arrive chaud sur l'amiante platinée, disposée de manière à présenter une grande surface. Une température convenablement réglée permet d'obtenir l'oxydation presque totale de l'anhydride sulfureux. L'anhydride sulfurique ainsi obtenu peut être mélangé à l'eau, ce qui donne de l'acide sulfurique concentré et pur, ou passé dans de l'acide sulfurique ordinaire pour obtenir les acides fumants.

L'acide sulfurique est, de tous les acides, le plus employé dans les laboratoires et dans l'industrie; ses usages s'accroissent chaque jour. Grâce à sa fixité et surtout à la grande chaleur qu'il dégage en se combinant aux bases fortes, l'acide sulfurique sert à la préparation des acides volatils, comme l'anhydride carbonique, l'acide azotique, l'acide chlorhydrique, etc. La faible solubilité du sel qu'il forme avec la chaux, et la grande quantité de chaleur qu'il dégage en se combinant avec cette base le font employer dans la préparation des acides phosphorique, citrique, tartrique et stéarique. Il est utilisé dans la production des aluns, des sulfates de fer, de cuivre, de sodium. L'acide sulfurique très étendu sert, avec le zinc, à la préparation du gaz hydrogène, et à la production des courants électriques dans les piles. Il sert à affiner les métaux précieux. Il est employé dans la préparation des superphosphates. On rencontre encore l'acide sulfurique dans la préparation de l'alizarine, de la résorcine, dans la fabrication du

sucres de fécule et dans l'épuration des huiles. En résumé, il n'est presque pas un corps à l'occasion duquel on n'a pas à rappeler un usage de cet acide.

EXERCISE 12.

LE CHLORE ET SES DÉRIVÉS.

recueillir = to collect
mettre en marche = to start, to
set up
manier = to handle
récipient en acier = steel recep-
tacle
robinet = facet
coupelle = cupel

cuve à mercure = mercury trough
à froid = in the cold
à chaud = at a high temperature
en grand = on a large scale
lame de fer = sheet of iron
bonbonne = jug, demijohn
composé détonnant = explosive
compound

Le chlore est un gaz jaune verdâtre, d'une odeur forte et suffocante. Il pèse deux fois et demie plus que l'air, trente-cinq fois et demie plus que l'hydrogène. Le poids d'un litre de chlore est de 3 gr., 17. On profite de cette circonstance pour le recueillir par déplacement d'air en faisant venir jusqu'au fond d'un flacon que l'on veut remplir le tube qui amène le gaz. Il est soluble dans l'eau, et sa solubilité semble augmenter jusque vers 8° pour décroître ensuite. Un litre d'eau n'en dissout que 10 grammes environ; aussi peut-on le recueillir sur l'eau comme les autres gaz. Pour éviter d'avoir à mettre en marche des générateurs à chlore chaque fois que l'on a besoin d'un courant prolongé de ce gaz, on prépare industriellement le chlore liquide, plus facile à manier et à transporter. On l'obtient en comprimant à l'aide de pompes à acide sulfurique, sous une pression de 4 atm., 15, le chlore préparé par électrolyse. Le chlore liquide, n'attaquant pas les métaux, est emmagasiné dans des récipients en acier, munis d'un robinet par lequel on fait dégager le chlore gazeux.

Le chlore se combine vivement avec la plupart des corps simples, des métalloïdes comme le phosphore et l'arsenic, et des métaux comme l'antimoine, le cuivre, le fer, le mercure; il brûle les mêmes corps que l'oxygène à l'exception du charbon, et il dégage beaucoup de chaleur dans ses combinaisons. Les produits formés, que l'on nomme chlorures, prennent naissance avec

dégagement de chaleur, parfois même avec production de lumière. Le phosphore, introduit à l'aide d'une coupelle, dans un flacon plein de chlore, s'y enflamme spontanément et donne du pentachlorure de phosphore solide PCl_5 , dans les points où le chlore est en excès. Il se produit du trichlorure liquide s'il y a excès de phosphore. L'arsenic et l'antimoine, projetés en poudre fine dans un flacon plein de chlore, y brûlent en produisant des gerbes de feu; il se forme du chlorure d'arsenic ou des chlorures d'antimoine. Une spirale de cuivre dont on chauffe légèrement l'extrémité inférieure, et qu'on plonge ensuite dans un flacon de chlore, donne du chlorure que l'on voit tomber en gouttelettes incandescentes au fond du flacon. Le mercure est attaqué par le chlore à la température ordinaire; aussi ne peut-on pas recueillir ce gaz sur la cuve à mercure.

Le chlore se combine à l'hydrogène instantanément et avec détonation à la lumière solaire, lentement à la lumière diffuse. La combinaison instantanée se produit également sous l'influence de la flamme de magnésium, cette lumière étant riche en rayons chimiques. Le chlorure d'hydrogène formé prend le nom d'acide chlorhydrique. Cette affinité du chlore pour l'hydrogène nous fait prévoir qu'il pourra décomposer un grand nombre de composés hydrogénés en s'emparant de leur hydrogène. C'est ainsi que le chlore décompose à froid les acides bromhydrique et iodhydrique. Le chlore, en dissolution dans l'eau, la décompose à la température ordinaire. Sous l'influence des rayons solaires il se produit de l'acide chlorhydrique avec dégagement d'oxygène: le chlore en présence de l'eau est donc un oxydant. L'eau de chlore ne se conserve que dans des flacons en verre noir.

Le chlore est décolorant et désinfectant, probablement parce qu'il détruit les matières organiques en leur enlevant l'hydrogène ou en provoquant leur oxydation.

Le chlore, en agissant sur les carbures saturés tels que le méthane, peut s'emparer de l'hydrogène et se substituer atome à atome à l'hydrogène enlevé en donnant des produits de substitution. Le chlore peut aussi se combiner avec certains carbures d'hydrogène non saturés, tels que l'éthylène, pour donner des composés d'addition.

On produit le chlore en attaquant l'acide chlorhydrique par le bioxyde de manganèse; c'est la réaction généralement employée dans les laboratoires. Quand on produit le chlore en grand pour le faire entrer dans des composés liquides ou solides qui en rendent le maniement plus facile, comme le chlorure de chaux, on applique le procédé Weldon où la même quantité de bioxyde de manganèse peut être indéfiniment régénérée, et où la dépense ne consiste que dans l'acide chlorhydrique et dans la chaux qui sert à la régénération de l'oxyde.

On prépare aussi une grande quantité de chlore industriellement par l'électrolyse d'une dissolution concentrée de chlorure de sodium. Le chlore se dégage à l'anode, formée de graphite ou de charbon comprimé, tandis qu'à la cathode, formée par une lame de fer et séparée de la précédente par un diaphragme ou cloison poreuse, le sodium donne, au contact de l'eau, de la soude et de l'hydrogène.

L'acide chlorhydrique, appelé encore acide muriatique, se présente en gaz ou en liquide formé par la dissolution du gaz dans l'eau. Le gaz est plus lourd que l'air; il pèse 18,25 fois plus que l'hydrogène. Il est très soluble dans l'eau qui en prend plus de 500 fois son volume à la température de 0°; quand le gaz est pur, son absorption est instantanée. Au contact de l'air humide, il répand d'épaisses fumées dues à ce que¹ le gaz, s'emparant de la vapeur d'eau de l'atmosphère, forme avec elle un hydrate ayant une force élastique très faible, et, par suite, se condensant sous forme de brouillard.

On prépare l'acide chlorhydrique en attaquant le sel marin ou chlorure de sodium par l'acide sulfurique; l'acide réagissant à une température peu élevée sur le sel marin, donne de l'acide chlorhydrique et du bisulfate de sodium. La réaction s'arrête là, quand on ne chauffe que légèrement, dans des ballons de verre; mais si, comme dans l'industrie, on fait la préparation dans des appareils qui permettent d'élever la température jusqu'au rouge, on peut n'employer qu'un poids d'acide sulfurique égal au poids de sel marin, parce que le bisulfate formé dans la première partie de l'opération, réagit sur le sel marin sous l'influence d'une tempéra-

¹ dues à ce que = owing to the fact that.

ture élevée, et donne du sulfate neutre et de l'acide chlorhydrique. Le gaz est envoyé dans des bonbonnes à demi pleines d'eau où il se dissout peu à peu au contact du liquide. L'acide du commerce est souvent coloré en jaune par un peu de chlorure de fer.

L'acide chlorhydrique liquide attaque les métaux et donne les chlorures en dégageant de l'hydrogène. Cette formation de chlorures a lieu avec presque tous les métaux. L'acide chlorhydrique, en agissant sur les oxydes basiques ou sur les hydrates de ces oxydes, donne des chlorures et de l'eau. Avec les sulfures il donne un chlorure et de l'acide sulfhydrique, et avec les carbonates, un chlorure et de l'acide carbonique. Avec les sels d'argent, il donne un précipité de chlorure d'argent qui, d'abord blanc, devient violet, puis noir, sous l'influence de la lumière. Ce précipité caractérise l'acide chlorhydrique et ses sels.

Le chlore ne se combine pas directement avec l'oxygène, mais il existe plusieurs composés oxygénés du chlore, des acides qui ont, outre du chlore et de l'oxygène, de l'hydrogène à échanger contre les métaux pour donner des sels: ce sont les acides hypochloreux ClOH , chloreux ClO_2H , chlorique ClO_3H et perchlorique ClO_4H . Le premier et le troisième sont les plus importants. La dissolution d'acide hypochloreux est constamment employée dans les laboratoires, comme oxydant énergétique. Dans l'industrie, on emploie pour les blanchiments les hypochlorites alcalins ou alcalino terreux comme le chlorure de chaux. L'acide chlorique est très instable; les chlorates se forment par l'action de la chaleur sur les hypochlorites. Le chlorate de potassium est le sel le plus intéressant. Il se décompose par la chaleur et dégage de l'oxygène; c'est la raison qui le fait employer pour préparer ce gaz. Il donne des composés détonnants avec les combustibles comme le soufre.

EXERCISE 13.

LES OXYDES. LES SELS.

à tel point = to such an extent, so
that

colcotar = red ochre

céruse = white lead

tiers = third

moitié = half

laisser dégager = to yield

essayer = to analyse

provenances = origine

polissage = polishing

se refaire = to reform

argile = clay

estimée = valuable

sable = sand

grès = earthenware

chaux vive = quicklime

chaux éteinte = slaked lime

vis-à-vis = toward

eau régale = aqua regia

à part = aside

craie = chalk

refroidir = to cool

se congeler = to freeze

décaper = to flux

teinture = dye industry

rongeant = corrosive

colorant = a dye

relever = to enhance, to bring out

acide étendu = dilute acid

se troubler = to become turbid

engrais = fertilizer

encollage = filling, sizing

fumier = stable manure

étaler au pinceau = to spread
with a brush

Tous les métaux, à l'exception du platine, de l'or et de l'argent, peuvent être oxydés quand on les chauffe dans l'oxygène ou dans l'air; le mercure s'oxyde à 350°, le cuivre au rouge sombre; le zinc qui est volatil, brûle avec une flamme bleuâtre en produisant de l'oxyde de zinc en flocons blancs.

La présence de l'humidité ou de l'eau favorise l'oxydation de certains métaux. La rouille du fer se produit abondamment à l'air humide, à tel point qu'il faut préserver le fer de l'oxydation, soit par une peinture, soit par un émail, soit par une mince couche d'un autre métal, de zinc, par exemple, comme dans le fer galvanisé.

Les oxydes formés de la combinaison d'un métal avec l'oxygène sont désignés par le nom du métal: oxyde de fer, oxyde de plomb, excepté ceux dont on a gardé l'ancien nom et qui étaient connus avant le métal qu'ils contiennent: potasse, soude, chaux. Si le même corps forme avec l'oxygène plusieurs oxydes, on peut se servir des terminaisons *eux* et *ique*, comme pour les acides: oxyde ferreux, oxyde ferrique.

Il y a trois modes de préparation des oxydes. Le premier est l'oxydation à l'air, autrement dit de l'action directe de l'oxygène emprunté à l'air ou à un corps qui le cède facilement. On fait ainsi les oxydes de plomb, l'oxyde de zinc et l'oxyde noir de cuivre.

Un second moyen est de détruire un sel par la chaleur pour le dissocier en un anhydre qui se dégage et en oxyde qui reste: on prépare ainsi la chaux en chauffant le carbonate de chaux; on peut obtenir l'oxyde de mercure par calcination de l'azotate, l'alumine par calcination de l'alun, le colcotar par la calcination du sulfure de fer.

Le troisième moyen est appelé la voie humide, parce qu'on y obtient l'oxyde en mélangeant deux dissolutions: on a, en effet, la plupart des oxydes en versant de la soude, de la potasse ou de l'ammoniaque dans une dissolution d'un sel du métal dont on veut l'oxyde.

Les oxydes métalliques sont tous solides et sans éclat. La plupart sont insolubles dans l'eau. La chaleur en décompose quelques-uns comme le bioxyde de manganèse qui fournit de l'oxygène. Ils peuvent être décomposés quand on les chauffe avec du charbon ou du soufre, ou que l'on fait agir sur eux de l'hydrogène. L'hydrogène réduit la plupart des oxydes à une température plus ou moins élevée et c'est souvent le moyen que l'industrie emploie pour avoir le métal.

Les oxydes naturels et artificiels sont nombreux puisque chaque métal peut en donner au moins un, et souvent plusieurs. Quelques-uns sont des minerais métalliques, comme les oxydes de fer et l'oxyde d'étain; la plupart sont des produits utilisés, comme les oxydes de plomb, l'oxyde de zinc, le bioxyde de manganèse, l'alumine, la rouille ou le sesquioxyde de fer, la chaux et les hydrates de potasse et de soude.

Les oxydes de plomb sont au nombre de trois: le protoxyde ou litharge PbO , le bioxyde PbO_2 , et le minium Pb_3O_4 . A part le bioxyde qui n'a d'usage que dans les laboratoires, les autres sont très employés: la litharge sert à la préparation de tous les sels de plomb, notamment la céruse, et le minium entre dans la composition du cristal, et dans la peinture des fers.

L'oxyde de zinc ou blanc de zinc est obtenu en volatilisant du zinc fondu : la vapeur du métal se combine à l'oxygène de l'air et le produit obtenu est une poudre blanche. Les peintres l'emploient au lieu de la céruse, à laquelle il est préféré parce qu'il ne noircit pas aux émanations sulfureuses.

Le bioxyde de manganèse est un produit naturel en poudre noir. Chauffé, il donne le tiers de son oxygène ; traité par l'acide sulfurique il laisse dégager la moitié de l'oxygène qu'il contient. Mais son principal emploi, c'est la production du chlore avec l'acide chlorhydrique ou le sel marin. La valeur d'un bioxyde de manganèse dépend de la quantité de chlore qu'il peut contribuer à faire dégager, et c'est sous ce rapport qu'on essaie les peroxydes de manganèse de diverses provenances.

Le sesquioxyde de fer peut être obtenu par voie sèche ou par voie humide. Par voie sèche, c'est-à-dire par calcination du sulfate de fer, le produit obtenu appelé colcotar est une poudre rouge qu'on utilise au polissage des glaces. Hydraté, le sesquioxyde de fer est poreux ; au contact des matières organiques, il repasse à l'état de protoxyde et il se refait par l'oxygène de l'air ; il joue ainsi le rôle d'un oxydant et d'un destructeur des corps organiques qui sont en contact avec lui. On s'explique ainsi la détérioration rapide du bois autour des pièces de fer rouillées.

L'alumine ou oxyde d'aluminium est très répandue, puisqu'elle est la base des argiles. Pure et cristallisée, elle donne les rubis, les saphirs, pierres précieuses très estimées ; mélangée de sable, elle donne les émeris et les grès. Produite à l'état de précipité, dans les laboratoires, elle est d'aspect gélatineux. Elle a deux propriétés intéressantes ; elle retient l'eau et elle donne des laques avec les matières colorantes. La première explique le rôle des argiles dans les terres et dans les couches du sol.

La chaux est obtenue par calcination du carbonate de chaux. Anhydre, c'est la chaux vive ; hydratée, c'est la chaux éteinte. Elle est surtout employée dans la construction, mais elle a aussi quelques autres usages comme base forte. Les mortiers sont des mélanges de chaux avec des fragments nombreux de pierre ou de sable qui favorisent leur durcissement à l'air ; la chaux y reprend l'état de carbonate solide et dur contre tous les fragments

pierreux qui y existent. Les ciments sont des poudres provenant de la calcination de calcaires auxquels on a mêlé 40 pour 100 d'argile. Ils ont la propriété d'absorber l'eau comme le plâtre et de donner avec elle une masse qui durcit quelquefois très vite. Les ciments armés sont des ciments se solidifiant dans des treillis de fils de fer. Ils résistent à la flexion et sont très employés dans la construction.

Les sels peuvent être regardés comme résultant de la substitution d'un métal à l'hydrogène dans l'acide. Pour les nommer, on fait suivre le nom de l'acide, en modifiant sa terminaison, par le nom du métal. Si l'acide est terminé en *ique*, on remplace cette terminaison par *ate*: ainsi l'acide azotique forme les azotates, l'acide chlorique forme les chlorates. Si l'acide est terminé, en *eux*, on termine le nom du sel par *ite*: ainsi l'acide azoteux donne les azotites. Pour nommer les composés binaires non oxygénés, on termine par *ure* le nom du corps électronégatif, et l'on met ensuite le nom du corps électropositif. Ex: chlorure de sodium, sulfure de carbone, carbure d'hydrogène.

L'eau joue quelquefois le rôle d'acide vis-à-vis des oxydes basiques; on donne aux composés résultant de cette réaction le nom d'hydrates. Deux sels contenant un même acide et des métaux différents se combinent quelquefois ensemble; on appelle sel double le résultat de cette combinaison. Ex: sulfate double de potassium et d'aluminium.

Les sels les mieux connus sont évidemment ceux des acides ordinaires, comme les chlorures, les sulfates, les nitrates ou azotates, les carbonates.

On prépare les chlorures par plusieurs procédés: d'abord par l'action directe du chlore sur le métal; on fait ainsi le bichlorure d'étain. Le deuxième moyen c'est l'action de l'acide chlorhydrique sur le métal, sur son oxyde ou sur un de ses sels; on fait ainsi le chlorure de zinc, le protochlorure de fer et d'étain, le chlorure de calcium et nombre d'autres. Un troisième procédé consiste à faire agir un chlorure comme le chlorure de sodium sur un autre sel en dissolution; on fait ainsi le chlorure d'argent. Enfin pour obtenir le chlorure d'or et celui de platine, on a recours à l'eau régale.

Les chlorures sont presque tous solides et tous solubles à part le chlorure de plomb, le protochlorure de mercure ou calomel et le chlorure d'argent.

Le chlorure de calcium est obtenu par l'action de l'acide chlorhydrique sur le marbre ou la craie; c'est le résidu de la préparation de l'anhydride carbonique. Il est très soluble dans l'eau et sa dissolution peut être refroidie très fortement sans se congeler, c'est ce qui le fait employer dans les appareils de réfrigération. Évaporé à sec, il donne le chlorure fondu qui est employé pour dessécher les gaz.

Le chlorure de zinc est obtenu en dissolvant le zinc dans l'acide chlorhydrique. On l'emploie pour décaper les pièces métalliques pendant qu'elles sont chauffées; il détruit en effet les oxydes en les transformant en chlorures que la chaleur volatilise.

Les deux chlorures d'étain sont l'un et l'autre employés en teinture. Le protochlorure réduit les sels de fer et peut être employé comme rongeur pour certains colorants. Il est surtout utilisé comme mordant pour les couleurs rouges qu'il fixe en relevant leur éclat.

Les deux chlorures de mercure sont: l'un le calomel et l'autre le sublimé corrosif. Le sublimé corrosif est un poison énergique. Il se combine à l'albumine en la coagulant et c'est ce qui le fait employer comme préservateur des préparations anatomiques et comme antiseptique puissant, détruisant tous les germes organisés. Le chlorure d'argent est employé dans les papiers photographiques, à cause de sa propriété de noircir à la lumière et de devenir insoluble dans l'hyposulfite de soude.

Les sulfates peuvent être produits par l'action de l'acide sulfurique sur les métaux. L'acide sulfurique étendu attaque le zinc et le fer en dégageant de l'hydrogène; concentré, il attaque le cuivre, le plomb, le mercure avec dégagement d'anhydride sulfureux. Dans les deux cas il se forme un sulfate.

Le sulfate de cuivre porte le nom de vitriol bleu. Il sert dans la teinture, dans les bains galvanoplastiques, à la préparation du cuivre pur par électrolyse et des autres sels de cuivre.

Le sulfate de fer ou vitriol vert est en cristaux verts qui deviennent ocreux à l'air. Il est soluble dans l'eau, mais sa solu-

tion se trouble et dépose de l'ocre. Il a beaucoup d'usages en teinture; on l'emploie avec succès comme désinfectant.

Le sulfate d'ammonium est retiré des eaux de condensation des usines à gaz. L'agriculture l'emploie comme engrais.

Le sulfate de calcium naturel constitue la pierre à plâtre. Calciné vers 200° , il perd son eau et donne un solide en poudre grise ou blanche qui est le plâtre.

Les aluns sont des sulfates à deux bases dont l'une est un sesquioxyde de fer, d'alumine ou de chrome et l'autre la potasse, la soude ou l'ammoniaque, avec de l'eau de cristallisation. Les dissolutions d'alun servent en teinture, dans l'encollage du papier, dans la préparation des peaux, dans la clarification des eaux.

L'azotate de sodium existe au Pérou et au Chili en bancs épais et d'une très grande étendue, sous une mince couche d'argile presque à la surface du sol. Ce sel est connu sous le nom de salpêtre. Il sert pour préparer l'acide azotique, l'azotate de potassium et l'azotite de sodium. Mêlé au fumier, il en augmente les propriétés fertilisantes.

Certains carbonates naturels sont des minerais des métaux qu'ils contiennent, ainsi le carbonate de zinc au calamine, le carbonate naturel de cuivre ou azurite et malachite. Le carbonate de baryum et surtout celui de calcium existent en grandes masses pierreuses dans le sol. Les carbonates artificiels sont formés par l'action de l'anhydride carbonique sur un oxyde hydraté. L'un des plus importants de ceux-ci est le carbonate de plomb ou céruse ou encore blanc de plomb. C'est une poudre blanche qui s'incorpore bien à l'huile pour donner une pâte qui se fixe bien aux corps sur lesquels on l'étale au pinceau.

EXERCISE 14.

LES PRINCIPAUX MÉTAUX USUELS.

répandu = abundant	alliage = alloy
tenacité = tenacity	laiton = brass
minerais de fer = iron ore	ustensiles de cuisine = household utensils
gangue = slag	se ternir = to become tarnished
calcaire = carbonate of Ca or Mg	griller = to roast
reposer sur = to be based upon	tôle galvanisée = galvanized iron
percelle = particle	lingot = ingot
se souder = to weld	en baguettes = rod form
haut fourneau = blast furnace	étamage = tinning
fondant = flux	soudure = soldering, welding
fonte = cast iron	gisement = deposit
couler = to cast	concassé = crushed
cubilot or convertisseur = con- verter	trompe à vide = vacuum pump
acier doux = soft steel	allier = to alloy
trempe = tempering	battage = beating, hammering
laminage = rolling	dorure = gilding
martelage = hammering	monnaies = coins, species

Le fer est très répandu dans la nature, mais à l'état de combinaisons diverses; on ne l'a trouvé à l'état natif que dans des météorites. Ses qualités de tenacité et de résistance au choc le placent au premier rang des métaux usuels; mais ce n'est pas le premier métal dont l'industrie humaine s'est servie parce que les procédés pour le tirer de ses combinaisons ne sont ni simples ni très faciles.

On donne le nom de minerais de fer aux matières minérales qui renferment du fer en quantité assez grande et sous un état qui puisse permettre l'extraction du métal. Les minerais de fer exploités pour l'extraction du métal sont des oxydes ou des carbonates; les sulfures, bien que très abondants sous le nom de pyrites, ne servent pas à l'extraction du fer. L'oxyde de fer magnétique est l'un des meilleurs minerais; il forme des montagnes entières en Suède et en Norvège; il est très pur et donne des fers très estimés. Le sesquioxyde est plus répandu; il est quelquefois cristallisé en rhomboèdres très brillants; mais le plus souvent il est en masses amorphes et compactes: on l'appelle dans

ce cas ocre rouge ou hématite rouge. Le sesquioxyde hydraté forme des masses jaunes ou brunes connues sous le nom de limonite. Les minerais de fer sont ordinairement mêlés d'une gangue dont la nature varie et qui peut être silicieuse ou même calcaire. La métallurgie du fer repose sur la réduction des oxydes de fer par l'oxyde de carbone. Si les minerais de fer étaient purs, sans mélange de gangue, il serait facile d'en retirer le fer, parce qu'il suffirait de les chauffer avec du charbon pour enlever l'oxygène et laisser les parcelles de fer se souder les unes aux autres au rouge. Mais la difficulté du traitement c'est de rendre la gangue fusible en une sorte de verre fondu plus léger que le fer. La méthode d'exploitation actuelle repose sur l'emploi du haut fourneau. On met dans ce grand four le minerai mélangé de charbon et de fondant. La nature du fondant dépend de la composition de la gangue qui a dû être déterminée par un essai préliminaire. Si la gangue est silicieuse, et c'est le cas ordinaire, on y ajoute du carbonate de calcium, si elle est calcaire on y ajoute des matières silicieuses. La combustion est activée artificiellement et une très haute température se développe. L'argile, au lieu de se combiner à l'oxyde de fer, se combine à la chaux du calcaire, de sorte que l'on obtient tout le fer du minerai. Mais comme le silicate double d'aluminium et de calcium est moins fusible que le silicate double d'aluminium et de fer, il faut élever beaucoup la température. Dans ces conditions, le fer, au lieu de rester libre, se combine avec du carbone, pour former un alliage beaucoup plus fusible que le métal. Ce fer carburé se nomme fonte.

La fonte est blanche ou grise suivant les minerais dont elle provient. Refondue et affinée par un peu de charbon, elle peut être coulée dans des moules en sable et elle constitue des objets usuels. Mais, si au lieu de chauffer la fonte avec du coke dans des fours verticaux où elle peut encore se carburer, on cherche à lui faire perdre les matières qu'elle renferme, le silicium, le phosphore et tout ou partie de son carbone, on dit qu'elle subit l'affinage, et elle se transforme soit en acier, soit en fer. Pour l'affinage de la fonte, le mode le plus employé c'est la décarburation partielle ou complète au cubilot ou convertisseur Bessemer. On traite la fonte liquide au sortir du haut fourneau par un puis-

sant courant d'air qui en oxyde les différents corps; il se développe assez de chaleur dans cette oxydation pour que la masse métallique reste fluide. Et, si les qualités de la fonte sont bien connues, si l'opération est bien conduite, on obtient en coulant le métal, soit du fer pur, soit du fer un peu carburé, soit des aciers doux, c'est-à-dire contenant moins de 1 pour 100 de carbone, soit des aciers durs contenant encore 1 à 2 pour 100 de carbone incorporé. On peut donc obtenir à volonté toutes les variétés du fer jusqu'à l'acier et toutes les variétés de l'acier.

L'acier est un fer légèrement carburé (de 0,5 à 1,5 pour 100) qui jouit de propriétés spéciales de dureté et de résistance. On peut l'obtenir soit par la décarburation de la fonte, c'est alors l'acier naturel, soit par la carburation directe du fer; il porte alors le nom d'acier de cémentation. Dans ce dernier cas, il est généralement dur, bien disposé pour prendre la trempe et y gagner de l'élasticité. L'acier tend à remplacer la fonte qui n'est pas, comme lui, élastique et qui est sujette à se casser; il tend même à remplacer le fer dans beaucoup d'emplois. L'existence dans les aciers de certains corps simples, même en très petite quantité, modifie profondément leurs propriétés; ainsi le manganèse, le chrome, le nickel et le tungstène leur donnent des qualités (dureté, tenacité, etc.) qui les font rechercher pour des usages spéciaux.

Le cuivre est un des premiers métaux que l'homme ait employé pour ses instruments. On le trouvait à l'état natif avec sa couleur rouge et il suffisait de le fondre. On en rencontre encore de beaux échantillons près des grands lacs salés des États-Unis d'Amérique. Le cuivre s'extraît facilement du sous-oxyde et du carbonate. Il suffit de faire fondre ces minerais avec du charbon. Le charbon réduisant l'oxyde passe à l'état d'anhydride carbonique, et le cuivre est ramené à l'état métallique. Les pyrites cuivreuses, mêlées en général au sulfure cuivreux, exigent un traitement plus long qui varie dans ses détails suivant les pays et suivant la richesse du minerai. On affine actuellement le cuivre impur en électrolysant une dissolution de sulfate de cuivre rendue acide par l'acide sulfurique dans laquelle on introduit comme anode le cuivre impur à raffiner. Le cuivre de l'anode se

dissout et du cuivre pur se dépose sur la cathode formée par une lame de cuivre pur. Les impuretés du cuivre à raffiner (argent, or, platine) se précipitent à l'état métallique, l'étain et le plomb à l'état de sous-sulfates; le fer, le nickel, le cobalt et le zinc restent en dissolution. L'électrolyse permet le traitement de minerais pauvres; elle est avantageuse surtout si le minerai est argentifère ou aurifère.

Le cuivre est un métal rouge, susceptible d'un très beau poli. La densité du cuivre fondu est 8,8; elle augmente par le laminage et peut s'élever à 8,95. Le cuivre fond à 1084° , et bout à 2310° ; sa vapeur brûle avec une flamme verte. C'est un des métaux les plus ductiles et les plus malléables; on en fait des vases par le martelage; il est, après le fer, le métal usuel le plus tenace. C'est un métal très bon conducteur de la chaleur: de là son emploi pour les chaudières d'évaporation des sucreries, pour les alembics, les réfrigérants, les ustensils de cuisine. Etant très bon conducteur de l'électricité, on en fait des fils pour les lignes télégraphiques et téléphoniques. Mais c'est surtout à l'état d'alliages qu'il est employé dans les arts et l'industrie. En combinaison avec les métaux précieux, il leur donne de la dureté, ce qui permet aux alliages des monnaies de conserver toute la finesse des empreintes. Le cuivre et l'aluminium donnent un bronze d'aluminium très dur et très malléable, d'un beau jaune d'or. Avec le zinc, le cuivre donne le laiton qui sert à faire des instruments de physique, des ustensiles de ménage, des boutons, etc. Les bronzes sont des alliages de cuivre et d'étain ou de cuivre et d'aluminium. Ils ont plus de dureté et plus de résistance que leurs métaux générateurs. On en fait des cloches, des statues, etc. Le métal se recouvre à l'air d'une couche verdâtre que l'on appelle vulgairement vert-de-gris.

Le plomb se rencontre dans la nature surtout à l'état de sulfure; son minerai porte le nom de galène et se présente fréquemment cristallisé. Le plomb est un métal mou, facilement fusible, devenant liquide à 328° . Il se ternit rapidement à l'air, mais l'oxydation s'arrête à la surface. A l'air chaud, l'oxydation est rapide, surtout si l'on enlève l'oxyde à mesure qu'il se forme pour remettre à l'air la couche du métal fondu. La souplesse du

plomb le fait employer en feuilles pour les réservoirs d'eau, pour les chambres à fabriquer l'acide sulfurique, pour les tuyaux, etc.

Le zinc est extrait de deux minerais, la calamine qui est un carbonate, et la blende qui est un sulfure. On grille la blende pour l'oxyder et on réduit l'oxyde par le charbon; à la température du four le zinc se volatilise et ses vapeurs vont se condenser dans des récipients où le métal est recueilli. Le zinc peut être laminé à 100° et fondu vers 500°. Il sert en feuilles pour les toitures, les gouttières, les vases à eau. Il sert aussi pour les piles électriques. Il se recouvre à l'air d'une couche grise, mais il ne s'altère que lentement. On en recouvre le fer pour obtenir la tôle galvanisée et le fil de fer zingué qui résistent assez longtemps à l'air humide.

L'étain est l'un des métaux les plus anciennement connus. Son minerai est un oxyde appelé cassitéride se présentant en sables lourds que l'on réduit facilement par le charbon à une température peu élevée pour en obtenir le métal. L'étain fondu est alors coulé en lingots ou en baguettes. L'étain pur est d'un blanc d'argent, à peine oxydable à l'air, fusible à 228°, malléable à froid et pouvant être réduit en feuilles très minces qui ont l'aspect de papier métallique. En feuilles, l'étain sert à préserver les matières alimentaires de l'humidité et de l'air, à l'étamage des vases de cuivre employés pour la cuisine, ce qui préserve le cuivre contre l'attaque des acides organiques et contre la production de composés toxiques. En lingots, il sert dans un certain nombre d'alliages; avec le plomb il donne la soudure, avec le cuivre il forme les bronzes. L'alliage d'étain et de mercure se fixe au verre sous la forme d'une couche très brillante qui réfléchit la lumière et fait miroir.

Le mercure se rencontre dans la nature sous la forme d'une pierre rougeâtre qui est un sulfure appelé cinabre et dont les gisements principaux sont en Espagne et en Californie. On grille ce minerai concassé et, par la chaleur et l'air, le soufre brûle et le mercure se volatilise; on fait condenser ses vapeurs pour obtenir le métal liquide. Le mercure a beaucoup d'usages dans les laboratoires; il y sert à la manipulation des gaz, pour les baromètres et les thermomètres, trompes à vide. Dans l'industrie,

son emploi le plus important est dans l'amalgamation de l'argent et de l'or pour séparer ces deux métaux. Le mercure s'allie avec presque tous les métaux; ses alliages ont reçu le nom d'amalgames. C'est le seul métal qui soit liquide à la température ordinaire. Il se solidifie à -40° , sous forme d'un solide blanc. Le mercure est un poison très violent. Absorbé à forte dose, sous forme de sels, il peut occasionner une mort rapide; absorbé lentement, sous formes de vapeurs répandues dans l'atmosphère, il occasionne un empoisonnement chronique.

L'argent a été trouvé à l'état natif dans la plus haute antiquité; mais on l'extrait actuellement des minerais qui le contiennent en sulfures et en chlorures mélangés avec d'autres sulfures de plomb, d'antimoine et d'arsenic. Le traitement de ces minerais est un peu long; on les concasse, on les mélange avec du sel marin pour transformer l'argent en chlorure, on agite la boue de chlorure avec du sulfate de cuivre, puis on ajoute du mercure qui réduit le chlorure d'argent, donne du chlorure de mercure et de l'amalgame d'argent. L'argent ainsi obtenu est ensuite raffiné. L'argent est blanc, susceptible d'un très beau poli. Il ne s'altère pas à l'air; cependant il y brunit aux émanations sulfureuses. On l'allie à un dixième de cuivre pour augmenter sa résistance au frottement. Au moyen du courant électrique on peut déposer l'argent en une couche très mince sur les objets métalliques pour leur donner une surface brillante et inoxyidable.

L'or est le premier des métaux précieux par l'éclat brillant et son inaltérabilité. Il est connu et apprécié depuis la plus haute antiquité. On ne le rencontre qu'à l'état natif. Il se présente d'ordinaire sous forme de petites paillettes ou de grains arrondis disséminés soit dans des sables d'alluvions anciennes, soit dans des roches ignées dont la désagrégation a produit ces sables d'alluvions. Les minerais pauvres et pyriteux sont aujourd'hui pulvérisés et traités par une solution de cyanure de potassium. L'or dissous est précipité par le zinc ou par l'électrolyse. On l'extrait des sables avec du mercure. L'or est le plus malléable des métaux; on le réduit par le battage en feuilles d'une très grande finesse qui servent à la dorure des objets non métalliques. Les alliages d'or forment les monnaies.

Le platine existe en sables comme l'or. Il se rencontre toujours avec d'autres métaux lourds. Les grains irréguliers de platine natif contiennent, outre le platine, de l'iridium, du palladium et du fer, et sont toujours mêlés à des paillettes brillantes d'osmiure d'iridium. Le platine pur est un métal d'un blanc grisâtre, très mou, très ductile, très malléable et très tenace. Il ne fond qu'à 1782°, c'est-à-dire qu'à la température du chalumeau à gaz d'éclairage et d'oxygène. Il se volatilise au four électrique. Le platine est très poreux et s'échauffe en condensant les gaz. Cette propriété est remarquable dans la mousse ou éponge de platine qui peut condenser 745 fois son volume d'hydrogène. Il détermine l'oxydation à l'air de l'alcool absolu. On remplace aujourd'hui la mousse ou l'éponge de platine par du charbon, de la ponce ou de l'amianté platinés.

En faisant jaillir l'arc électrique entre deux pointes de platine dans de l'eau pure, on obtient une dissolution de platine colloïdal qui jouit de propriétés catalytiques remarquables; elle décompose l'eau oxygénée.

EXERCISE 15.

ANALYSE QUALITATIVE.

avoir pour but = to aim at
 une donnée = data
 déceler = to reveal
 avoir affaire à = to be dealing with
 voie humide = wet way
 voie sèche = dry way
 s'exécuter = to be performed
 réactif = reagent
 caséux = cheesy, casein like
 dard = tip of flame
 chalumeau = blowpipe
 recourbé en oeillet = bent in the form of a loop

prise d'essai = sample for analysis
 paillettes = scales
 aréole = ring, incrustation
 mise en solution = dissolving
 éliminer en pure perte = to unnecessarily eliminate
 sous-produit = by-product
 faire partie de = to be part of, to enter into the composition of
 fondant = flux
 à peu près = about, approximately

L'analyse qualitative d'une seule substance a uniquement pour but de déterminer quels sont les éléments ou groupes d'éléments

qui entrent dans sa composition, et aussi quelles sont les formes de combinaisons dans lesquelles les éléments sont engagés.

Ainsi, par exemple, l'analyse qualitative d'un calcaire nous apprendra s'il existe dans ce calcaire, à côté du calcium, des métaux tels que le magnésium, le fer, l'aluminium; s'il s'y trouve de la silice, etc. Elle nous permettra aussi de savoir si la silice est entièrement à l'état libre (quartz) ou si elle se trouve en partie à l'état de silicate, et, spécialement, à l'état de silicate d'aluminium.

L'analyse qualitative d'un minéral de zinc grillé nous fera reconnaître éventuellement à côté du zinc la présence de métaux tels que l'arsenic, l'antimoine, le plomb, le cuivre, le cadmium, l'aluminium, l'argent, le calcium, le magnésium, etc.; elle nous fera aussi constater l'existence du soufre et nous dira si le soufre est en totalité à l'état de sulfure, ou en partie à l'état de sulfate; elle pourra aussi nous indiquer à quel métal ou à quels métaux, zinc, calcium, plomb, magnésium, etc., le soufre est combiné.

D'après l'intensité des réactions obtenues, l'analyse qualitative nous permet aussi d'identifier une substance sur laquelle nous n'avons aucune donnée. Si, par exemple, elle nous décèle dans une matière, beaucoup de fer, beaucoup de soufre à l'état de sulfure et des quantités très faibles seulement d'autres métaux ou métalloïdes, nous pourrions dire que nous avons affaire à une pyrite.

Si elle nous montre dans une matière la présence de beaucoup de carbonate de calcium, à côté de très peu de fer, d'aluminium et de silice, nous concluerons que la substance est un calcaire convenant pour la préparation de la chaux grasse. Trouvons-nous, au contraire, qu'il y a, en même temps que beaucoup de carbonate de calcium, une notable quantité de silicate d'aluminium, nous serons amenés à voir dans la matière analysée un calcaire argileux pouvant être utilisé pour la fabrication des ciments.

L'analyse qualitative fait usage de réactions par voie humide et de réactions par voie sèche. Les premières s'exécutent en ajoutant à la solution de la matière analysée des réactifs en solution qui y déterminent des précipités, des colorations ou des dégagements gazeux permettant d'identifier les divers éléments ou groupes d'éléments. Les réactions par voie sèche se font sur la

matière solide sur laquelle on fait agir à une température plus ou moins élevée de l'air ou des réactifs solides qui déterminent des colorations caractéristiques, permettant d'obtenir des métaux à l'état métallique ou à l'état d'oxydes, provoquant des dégagements gazeux, etc.

Exemples de Réactions par Voie Humide.—L'addition d'ammoniaque à la solution d'un sel ferrique produira un composé brun, l'hydrate ferrique, insoluble dans l'eau.

L'addition d'un sulfure alcalin à une solution d'un sel zincique déterminera la formation d'un corps solide blanc, le sulfure zincique.

L'addition d'une solution de chlorure sodique à une solution de sel argentique donnera lieu à l'apparition d'un composé blanc, caséeux, le chlorure argentique, soluble dans l'ammoniaque.

Exemples de Réactions par Voie Sèche.—Si l'on fond un composé de manganèse avec un mélange de carbonate et de nitrate alcalins, on obtient une masse colorée en vert par suite de la transformation du manganèse en manganate alcalin.

En chauffant jusqu'à fusion une quantité, même très faible, d'un sel de cobalt avec du borax, on obtient une masse fortement colorée en bleu par suite du passage du cobalt à l'état de borate.

Si l'on chauffe à haute température, sur un morceau de charbon, à l'aide du dard du chalumeau, un oxyde de plomb, celui-ci est réduit à l'état métallique; le plomb apparaît sous forme de globules malléables.

Aux essais par voie sèche se rattache aussi l'examen des colorations caractéristiques que les sels de divers métaux communiquent à la flamme non éclairante de la lampe de Bunsen.

Essais à la Perle de Borax ou de Sel de Phosphore.—Le borax fondu forme une masse vitreuse, transparente, dont la composition répond à la formule $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$; dans les mêmes conditions, le sel de phosphore (ancienne dénomination sous laquelle on désigne le phosphate ammoniaco-sodique), se transforme en métaphosphate NaPO_3 et forme, comme le borax, une masse vitreuse incolore.

Si, après avoir produit à l'extrémité d'un fil de platine re-

courbé en œillet une petite perle de l'une ou l'autre de ces substances, on fait adhérer à cette perle quelques parcelles de certains composés métalliques, puis qu'on chauffe jusqu'à fusion dans la zone oxydante de la lampe de Bunsen, on observe après refroidissement, suivant la nature du métal, des colorations particulières dues à la formation de borates doubles ou de phosphates doubles de sodium et du métal essayé. Avec certains métaux, on peut obtenir une seconde coloration caractéristique en chauffant la perle dans la zone de réduction de la flamme.

Ainsi le manganèse donne une coloration violette dans la zone d'oxydation, pas de coloration (formation de sel manganoux) dans la zone de réduction. Le cobalt donne une coloration bleue dans les deux zones. Le fer donne une coloration jaune dans la zone d'oxydation, et vert bouteille dans la zone de réduction. Le vanadium donne une coloration jaunâtre dans la zone d'oxydation; verte à froid, brunâtre à chaud dans la zone de réduction.

Les essais à la perle de borax ou de sel de phosphore peuvent rendre certains services pour la recherche des quelques métaux qui viennent d'être indiqués, lorsque la matière analysée ne renferme que le métal cherché. En cas de présence de plusieurs éléments, on est exposé à obtenir des perles dont la coloration est le résultat de diverses réactions et n'offre par conséquent plus rien de caractéristique. Il arrive ainsi que la coloration due à un métal masque complètement celle que produisent les métaux qui l'accompagnent. Si l'on examine, par exemple, une substance contenant à la fois du nickel et du cobalt, la coloration bleue due au cobalt masque absolument la teinte propre au nickel.

Essais sur le Charbon.—Ces essais consistent à réduire à l'état métallique les oxydes de certains métaux en les chauffant à haute température au contact d'un morceau de charbon. Si l'on a affaire à des sulfures ou autres composés non directement réductibles par le charbon, on ajoute à la prise d'essai, dont le poids ne dépasse pas quelques centigrammes, une petite quantité de carbonate sodique sec, qui, par fusion, transforme le composé en oxyde.

Pour faire un essai, on introduit la matière à essayer en mélange avec le carbonate, dans une petite cavité creusée dans un

morceau de charbon taillé en forme de parallépipède. On chauffe ensuite à l'aide du chalumeau dont on dirige le dard sur la matière, de telle façon que celle-ci soit entourée par la zone réductrice de la flamme. Après avoir chauffé quelque temps dans ces conditions, on laisse refroidir.

Suivant que l'on a affaire à un métal fusible ou non à la température de l'essai, on obtiendra des globules ou des paillettes; si le métal est plus ou moins volatil et donne lieu à la formation d'un oxyde non volatil (tel l'oxyde de zinc), cet oxyde se déposera sous forme d'un enduit (aréole) plus ou moins caractéristique sur les parties froides du charbon.

Ainsi le fer, le nickel, le cobalt, forment des paillettes, pas d'aréole: ces métaux étant infusibles à la température de l'essai. L'étain forme des globules, fondant vers 230°. Le plomb, le bismuth, l'antimoine, forment des globules malléables et aréoles jaunes. Le zinc est volatilisé; aréole d'oxyde, jaune à chaud, blanche à froid. L'arsenic ne forme ni métal, ni aréole, l'oxyde étant volatil; mais une odeur d'ail est facilement observée. Il est clair que les métaux qui ne sont pas réductibles dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire les métaux alcalins et alcalino-terreux, le chrome, l'aluminium et le manganèse, ne peuvent être décélés par ce procédé.

Analyse Spectrale.—Les spectres des lumières émises par les corps solides portés à l'incandescence sont continus. Ainsi, par exemple, si l'on examine le spectre de la flamme d'une lampe, dont le pouvoir éclairant est produit par des particules de carbone libres incandescentes, on constate que ce spectre est formé par la succession des couleurs que l'on observe dans le spectre solaire, sans interposition de raies noires.

Au contraire, si le spectre est dû à la lumière émise par un gaz ou une vapeur portée à l'incandescence, il se réduit à quelques raies brillantes, dont la couleur et l'intensité dépendent de la nature du gaz ou de la vapeur. Entre ces raies, dont la position est invariable pour un corps déterminé, s'étendent des bandes obscures. Il résulte de ceci, que si l'on volatilise dans la flamme de la lampe de Bunsen des sels de différents métaux, les spectres formés par les lumières émises par les vapeurs ainsi produites

seront caractérisés pour chaque métal par des raies spéciales. En admettant même que deux éléments donnent des raies de même couleur, la position de ces raies dans le spectre permettra encore de déterminer auquel de ces éléments on a affaire.

On peut donc, par l'examen des spectres d'émission fournis par la lumière des vapeurs des différents sels métalliques, identifier les métaux.

On produit parfois aussi des spectres d'une autre nature auxquels on a donné le nom de spectres d'absorption, et dont la formation repose sur les faits suivants. Lorsqu'une lumière blanche (donnant par conséquent un spectre continu) traverse une solution ou un verre coloré, certains rayons, dont la nature dépend de la teinte du milieu coloré, sont absorbés. Le spectre est donc interrompu par une série de raies ou de bandes obscures correspondant aux rayons absorbés.

Mise en Solution des Matières à Analyser.—Il est rare qu'un produit naturel ou fabriqué puisse être dissous par la seule action de l'eau. Le cas se présente pour certains sels alcalins: soudes, potasses, chlorure et sulfate de soude, etc.; mais, en général, des dissolvants plus énergiques sont nécessaires.

On placera dans un tube à réaction quelques centigrammes de la substance et on fera agir successivement l'acide chlorhydrique dilué de deux fois environ son volume d'eau, l'acide chlorhydrique concentré, l'eau régale. Dans les essais de dissolution faits avec des acides concentrés, il faut se borner à chauffer modérément afin de ne pas expulser le réactif avant qu'il ait eu le temps d'agir. Faire bouillir de l'acide chlorhydrique concentré ou de l'eau régale, c'est éliminer en pure perte l'élément actif, acide chlorhydrique ou chlore, et par conséquent, dans de nombreux cas, retarder, au lieu d'accélérer, l'attaque de la matière.

Dans l'attaque par les acides, nombre de substances (minéraux et minerais, sous-produits d'industries métallurgiques et autres, etc.), laissent en se dissolvant, un résidu très souvent de nature siliceuse ou argileuse. Ce résidu est parfois plus ou moins coloré, alors que cependant la dissolution de la matière proprement dite est complète. Ces résidus qui, parfois, renferment du sulfate de

baryum, peuvent être désagrégés à leur tour au moyen des carbonates alcalins.

Les alliages sont généralement mis en solution par l'acide nitrique. L'acide chlorhydrique, en effet, ne dissout que peu ou pas plusieurs des métaux qui font ordinairement partie des alliages industriels, c'est-à-dire le cuivre, le plomb, le mercure, le bismuth, l'antimoine, le nickel, etc. L'argent, l'or, le platine ne sont pas non plus attaqués par cet acide. Au contraire, l'acide nitrique dissout presque tous les métaux, à l'exception de l'or et du platine sur lesquels il n'a pas d'action.

Nombre de substances sont insolubles ou partiellement solubles seulement dans les acides d'emploi courant; c'est le cas pour beaucoup de silicates, les argiles, par exemple, et pour divers oxydes d'aluminium, de chrome, etc. Dans les cas de ce genre, la matière doit être désagregée par voie sèche, c'est-à-dire en recourant à l'emploi d'un fondant. Pour les matières silicatees, ce fondant sera de préférence le carbonate sodico-potassique NaKCO_3 , seul ou additionné d'un peu de nitrate potassique s'il y a des éléments susceptibles d'être oxydés (oxydes ferreux, manganèse, chrome, etc.). Dans le cas d'oxydes réfractaires à l'action des acides, on peut faire usage du sulfate acide de potassium KHSO_4 . Signalons aussi l'emploi très répandu du peroxyde de sodium Na_2O_2 , pour certaines désagregations s'accompagnant de l'oxydation de l'un ou l'autre élément. Les silicates indécomposables par les acides peuvent être désagregés en les fondant avec un carbonate alcalin si l'on n'a pas à doser les métaux alcalins. Mais l'emploi des fondants alcalins est évidemment impossible lorsqu'on doit doser les alcalis dans une substance inattaquable par les acides. Dans ce cas on fait agir sur une pareille substance de l'acide fluorhydrique; la silice est transformée en fluorure de silicium (gaz); les bases passent à l'état de fluorures qui peuvent s'unir à du fluorure de silicium pour donner des fluosilicates. Si l'attaque se fait en présence d'acide sulfurique, les fluosilicates seront décomposés; le fluorure de silicium se dégagera et les bases seront finalement transformées en sulfates.

Une fois la dissolution effectuée, on procède à l'analyse qualitative suivant les méthodes classiques si les métaux sont à peu

près en proportion égale et qui permettent de travailler sur 0, 5 à 1 gramme de matière. Mais l'analyse est souvent, dans la réalité, une opération très délicate par suite des différences qui s'observent dans la proportion pour laquelle les constituants d'une matière donnée interviennent dans sa composition.

EXERCISE 16.

GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTHODES DE DOSAGE.

méthode de dosage = quantitative
method

doser = to determine, to run

teneur = percentage, contents

méthode par pesée = gravimetric
method

précipité = precipitate

sécher à l'étuve = to dry in the
oven

mettre en réserve = to put aside

creuset de porcelaine taré = tared
porcelain crucible

il y a lieu de = it is necessary

cendres = ashes

exsiccateur = desiccator

prise d'essai = sample taken for
analysis

entacher d'erreurs = to vitiate

terme = end point

liqueurs titrées = standardized
solutions

pour autant que = in so far as, as
long as

matras jaugé = calibrated flask

trait de jauge = calibration mark

jaugeage par emplissage = grad-
uation for contents

jaugeage par écoulement = grad-
uation for delivery

d'usage courant = in common use

tube de verre effilé = drawn out
piece of glass tubing

robinet en verre = glass stopcock

point de repère = reference point,
guiding point

l'allure des réactions = direction
taken by the reactions, type
of reactions

titrage = titration

virer = to turn, to shift

empois d'amidon = starch paste

titrage en retour = back titration

solutions types = standardized
solutions

Doser un élément ou un groupe d'éléments c'est déterminer la proportion pour laquelle cet élément ou groupe d'éléments intervient dans la composition d'une substance donnée. Lorsqu'on a affaire à des matières solides, le résultat est généralement rapporté à 100 parties de matière sèche. Le nombre trouvé exprime la teneur de la substance en tel ou tel élément ou groupe d'éléments dosé.

Doser le fer dans un minerai de fer c'est déterminer combien

100 parties de ce minéral sec renferment de fer. Le nombre trouvé est la teneur en fer du minéral. Doser l'acide, ou plus exactement l'anhydride phosphorique dans un phosphate calcique, c'est établir combien de P_2O_5 , 100 parties de ce phosphate contiennent. Le nombre trouvé est la teneur du phosphate en P_2O_5 .

Dans le cas de matières liquides, dans les analyses d'eaux, par exemple, les résultats des dosages sont d'ordinaire rapportés au litre.

Il existe un assez grand nombre de méthodes de dosage. Les principales sont : la méthode par pesée, la méthode volumétrique ou titrimétrique, la méthode gazométrique, la méthode colorimétrique.

Méthode par Pesée.—Dans cette façon d'opérer, on amène le constituant que l'on veut doser, sous une forme de combinaison bien définie se prêtant bien à la pesée. La pesée effectuée, on calcule la proportion pour laquelle le constituant à doser entre dans le poids de la matière constaté.

Par exemple : soit à doser l'argent dans un alliage d'argent et de cuivre. La substance étant dissoute dans l'acide nitrique, on ajoute de l'eau, puis de l'acide chlorhydrique qui transforme l'argent en chlorure ; celui-ci étant insoluble apparaît à l'état solide. Cette formation d'un corps insoluble par l'action d'un réactif porte le nom de précipitation et le corps formé est appelé précipité.

Lorsque le chlorure d'argent est bien déposé, on le recueille sur un filtre en papier (papier spécial, lavé à l'acide fluorhydrique et pouvant être considéré comme pratiquement exempt de matières fixes), on le lave jusqu'à ce que tous les éléments solubles qui l'imprègnent aient été éliminés, en un mot jusqu'à ce qu'il soit tout à fait pur ; ensuite on le sèche à l'étuve à la température de 100° - 110° . Lorsqu'il est sec, on le détache du filtre, et on le met en réserve. Le filtre est incinéré dans un creuset de porcelaine taré. Comme ce filtre a pu retenir quelques parcelles de chlorure d'argent et comme, d'autre part, celui-ci est aisément réductible par le carbone produit pendant l'incinération, il y a lieu de retransformer en chlorure les traces d'argent réduit qui

ont pu se produire. Pour cela on traite les cendres par quelques gouttes d'acide nitrique qui ramènent le métal à l'état de nitrate; on évapore l'excès d'acide, puis on ajoute une ou deux gouttes d'acide chlorhydrique qui ramènent le nitrate à l'état de chlorure. Après avoir évaporé l'excès d'acide chlorhydrique, on ajoute au contenu du creuset le précipité mis en réserve et on chauffe le tout jusqu'à ce que le chlorure d'argent commence à fondre. On laisse ensuite refroidir le creuset sous un exsiccateur chargé d'acide sulfurique ou de chlorure de calcium afin d'éviter que le chlorure d'argent puisse devenir humide au contact de l'air. Enfin, après refroidissement complet, on pèse le creuset et son contenu.

Calcul du résultat:

Soit:

$$\text{Le poids de creuset} + \text{AgCl} = 22,9046 \text{ gr.}$$

$$\text{Le poids du creuset vide} = 22,2168$$

$$\text{Poids du chlorure d'argent} = 0,6878 \text{ gr.}$$

$$\text{D'où: } \text{AgCl} : \text{Ag} :: 0,6878 : x.$$

$x = 0,5177$ gr. ou poids de l'argent contenu dans la prise d'essai de l'alliage analysé. Supposons que cette prise d'essai soit de 0,7000 gr.; le teneur de l'alliage en argent sera donnée par la relation:

$$0,7 : 0,5177 :: 100 : x.$$

d'où:

$$x = 73,95 \text{ p. } 100.$$

Au dosage par pesée proprement dit se rattache le dosage par électrolyse qui acquiert de jour en jour plus d'importance. Certains métaux sont plus ou moins aisément séparés à l'état élémentaire de leurs solutions salines par l'action du courant électrique. Avec un certain nombre d'entre eux, on réussit, en opérant dans des vases en platine et dans des conditions déterminées, à obtenir le dépôt électrolytique sous forme d'un enduit cohérent, adhérent en tous ses points au platine et pouvant être lavé sans se détacher. Lorsque ces conditions sont réalisables, le dosage électrolytique est supérieur à tout autre, parce qu'il permet d'obtenir dans une opération et à un grand état de pureté

l'élément que l'on veut doser, sans que l'on ait à passer par des précipitations, filtrations, lavages, calcinations et pesées, autant d'opérations que la moindre négligence peut entacher d'erreurs plus ou moins graves.

Les électrodes dont on fait usage en électrolyse sont toujours en platine ; leurs formes et dimensions sont assez variables. Le plus souvent l'électrode négative ou cathode qui doit recevoir le dépôt métallique est formée par une mince feuille de platine, ou par un cône ou un cylindre en feuille ou en toile de platine. L'électrode positive qui, en général, ne sert qu'à fermer le circuit, est habituellement formée d'une lame ou d'un fil de platine contourné sur lui-même.

Le lavage du dépôt métallique se fait à courant interrompu ou à courant fermé suivant les cas. Si l'on a, par exemple, électrolysé du cuivre en solution nitrique, le dépôt doit être lavé à courant fermé, sinon l'acide nitrique contenu dans le liquide, pourrait redissoudre, au moins en partie, le cuivre précipité. Par contre, on peut laver à courant interrompu un dépôt de nickel ou de cobalt obtenu en solution ammoniacale, l'ammoniaque n'exerçant pas d'action dissolvante sur ces métaux.

Après avoir lavé l'électrode avec de l'eau distillée, on fait deux ou trois lavages à l'alcool, et un lavage à l'éther, puis on sèche à l'étuve pendant quelques instants à une température très modérée (environ 50°).

On se sert, dans ces derniers temps, de dispositifs spéciaux permettant de maintenir en mouvement les solutions à électrolyser, pendant le passage du courant. Cette façon d'opérer, actuellement admise dans la pratique, offre le grand avantage d'abréger très notablement la durée des électrolyses.

Méthode Volumétrique ou Titrimétrique.—Dans cette méthode, très importante en pratique, au lieu de déterminer directement, comme dans la précédente, le poids précipité ou une modification de poids en rapport avec l'élément à doser, on détermine, au contraire, le poids de réactif nécessaire pour produire ce précipité ou une réaction nette entre le constituant à doser et le réactif employé. Connaissant ce poids, il est facile de calculer, en se ser-

vant de l'équation chimique exprimant la réaction, le poids correspondant de l'élément à doser.

En fait, afin de pouvoir ajouter plus facilement par petites portions successives, ce qui est très important surtout lorsqu'on approche du terme de la réaction, on se sert d'une solution du réactif de concentration connue. Il suffit alors de mesurer le volume de solution strictement nécessaire pour amener sous une forme de combinaison déterminée l'élément ou le groupe d'éléments à doser pour connaître par là même le poids de réactif employé. Ce poids s'obtient donc, en somme, en déterminant un volume, d'où le nom de méthode volumétrique. La concentration de la solution de réactif s'appelle titre d'où le nom de méthode titrimétrique ou par liqueurs titrées.

On conçoit, d'après la définition qui vient d'être donnée, que le procédé n'est applicable que pour autant que la réaction soit bien nette et complète entre le réactif et l'élément à doser; il faut, en outre, que le terme puisse en être apprécié exactement, afin que l'on ne soit pas exposé à employer un excès de réactif.

Par exemple: Soit à doser un sel ferreux par une solution de permanganate de potassium. Le permanganate potassique agit sur les sels ferreux qu'il transforme en sels ferriques. La réaction est nette et complète, se passe conformément à l'équation suivante:



Comme on le voit, deux molécules de permanganate dont le poids = 313,95 oxydent 10 atomes de fer, ou 555 gr.

D'autre part, le terme de la réaction peut être facilement apprécié. En effet, en dehors du permanganate, tous les sels qui interviennent dans la réaction sont pratiquement incolores, au moins en solution; le permanganate, au contraire, est doué d'un très grand pouvoir colorant; les moindres traces de ce sel sont reconnaissables à la coloration violacée qu'elles communiquent à l'eau. Par conséquent, si l'on ajoute à une solution acide de sel ferreux, une solution de permanganate, tant que celui-ci se décolore, c'est qu'il restera du sel ferreux à oxyder. Dès que le

liquide prendra une teinte rose persistante, on pourra dire que tout le fer est oxydé à l'état ferrique, la coloration rose ne pouvant provenir que d'une trace de permanganate en excès.

Si la concentration de la solution de permanganate est connue et si l'on a noté le volume consommé, on peut aisément, en se basant sur l'équation donnée plus haut, calculer la quantité de fer à doser.

La méthode de dosage par liqueurs titrées exige l'emploi d'un certain nombre d'instruments jaugés ou gradués pour la température de 15° C. Citons ici les matras jaugés qui ont habituellement une capacité de 1000, 500, 250 ou 100 centimètres cubes et qui portent un ou deux traits de jauge gravé sur le col. Dans ce dernier cas, le trait inférieur correspond au jaugeage par remplissage, le trait supérieur au jaugeage par écoulement.

Ces matras sont utilisés pour amener à un volume déterminé les solutions titrées des réactifs ou les solutions qui contiennent le corps à doser, lorsqu'on veut pouvoir faire plusieurs essais sur des parties aliquotes de la solution.

Pour prélever des volumes déterminés d'une solution titrée ou de la solution contenant le corps à doser on se sert de pipettes jaugées. Les pipettes portent au-dessus de la partie cylindrique un trait de jauge. Les capacités des pipettes jaugées d'usage courant sont de 100, 50, 25, 10 et 5 centimètres cubes.

Enfin, les solutions titrées qu'on doit laisser couler dans la solution du corps à doser se placent dans des burettes graduées. Ces burettes sont de divers modèles. Le type habituel est la burette de Mohr, sorte de tube cylindrique de 15 millimètres environ de diamètre, ouvert à la partie supérieure et rétréci à la partie inférieure. On adapte à cette dernière un bout de tuyau de caoutchouc dans lequel est engagé un morceau de tube de verre effilé. Une pince, qui s'adapte sur le caoutchouc permet de régler l'écoulement du liquide. Parfois, la fermeture de la burette se fait à l'aide d'un robinet en verre soudé à la partie inférieure.

Pour procéder aux lectures, on prend comme point de repère le plan passant par le dessous ou par le bord supérieur du ménisque.

Préparation des Solutions Titrées.—Lorsqu'on a affaire à des substances qui peuvent être obtenues aisément à l'état pur et qui ne sont ni efflorescentes, ni déliquescentes, la préparation des solutions titrées est très simple. Il suffit de peser un poids déterminé de substance, qu'on dissout ensuite dans l'eau; la solution, introduite dans un matras jaugé est finalement amenée à un volume déterminé à l'aide d'eau distillée. On peut, par exemple, obtenir de cette façon des solutions titrées de nitrate d'argent, de chromate potassique, d'acide oxalique, de permanganate potassique.

Dans le cas de substances telles que les hydrates potassique et sodique, et autres que l'on ne peut obtenir pures dans le commerce, les choses sont plus compliquées. On pèse une quantité de substance telle qu'elle correspond à une concentration supérieure à celle que l'on veut obtenir; on la dissout dans l'eau, puis on détermine la concentration de la solution, on calcule de combien cette solution doit être diluée pour avoir la concentration qu'on désire finalement lui donner.

L'expression 'titre' appliquée aux solutions employées dans l'analyse titrimétrique peut être prise dans différentes acceptions. Le titre d'une solution peut exprimer la quantité de matière existant dans 1 centimètre cube de la solution. Il peut aussi être exprimé en fonction de la substance avec laquelle la solution titrée est destinée à réagir.

On appelle solutions normales celles qui renferment par litre un poids d'une matière donnée en rapport numérique simple avec le poids moléculaire de cette matière rapporté à l'hydrogène pris pour unité. Le poids moléculaire de l'acide chlorhydrique est 36, 45; une solution titrée d'acide chlorhydrique sera normale si elle renferme par litre un poids d'acide chlorhydrique égal à ce poids moléculaire; elle sera déci-normale, centi-normale, si elle renferme le dixième ou le centième du poids normal.

Pour certaines substances, le poids normal varie d'après l'allure des réactions dans lesquelles ces substances interviennent.

Le titrage est dit direct lorsque, par un phénomène quelconque, apparition ou disparition d'une coloration, modification d'une teinte, cessation de formation de précipité, etc., on peut évaluer

directement, en une seule opération, le terme de l'essai. Par exemple, lorsqu'on dose l'acide oxalique par une solution titrée de permanganate, celui-ci se décolore tant que l'acide oxalique n'est pas entièrement oxydé. Lorsque l'oxydation est complète, une dernière goutte de la solution de permanganate colore le liquide en rose, parce que cette goutte ne trouve plus d'acide oxalique avec lequel réagir. La coloration rose marque directement le terme de l'essai.

Lorsqu'on dose un acide par une solution titrée alcaline, ou un alcali par un acide titré, le terme de l'essai peut aussi se marquer directement en introduisant dans le liquide avant le titrage quelques gouttes d'un indicateur tel que la teinture de tournesol, la phtaléine du phénol, l'Orangé III, dont la teinte varie suivant que le liquide est acide ou alcalin.

Si l'on a, par exemple, à doser l'acide contenu dans une solution d'acide chlorhydrique, on ajoute quelques gouttes d'une solution de phtaléine de phénol qui ne colore pas le liquide; on laisse ensuite couler une solution titrée d'hydrate de sodium ou de potassium qui réagit avec l'acide. Tant que tout l'acide n'a pas réagi, la solution reste incolore, mais dès que la réaction est achevée, une goutte de solution d'hydrate alcalin rend le liquide alcalin et une coloration rouge violacée apparaît, ce qui indique directement le terme de l'essai. Dans le cas de l'Orangé III, la solution acide est rouge; quand la réaction avec l'hydrate alcalin est terminée, une goutte de l'hydrate fait virer le teinte rouge au jaune. Ce virage indique le terme de l'essai.

Dans certains cas, il peut être plus ou moins difficile d'estimer le moment auquel la réaction entre le réactif et la matière à doser est achevée. Dans ce cas, on ajoute un excès de réactif et on évalue ensuite l'excès à l'aide d'une seconde solution titrée contenant une substance qui peut réagir dans un sens bien déterminé avec cet excès de réactif, et dans des conditions telles que l'on puisse apprécier le moment où l'excès est consommé. Par exemple, le fer se trouvant à l'état de chlorure ferrique peut être dosé par une solution titrée de chlorure stanneux qu'on ajoute en excès, et l'excès déterminé au moyen d'une solution titrée d'iode qui réagit avec le chlorure stanneux. Le terme de cette

dernière réaction est indiqué en ajoutant quelques centimètres cubes d'empois d'amidon qui produit avec l'iode une coloration bleue très manifeste. Ce mode opératoire porte le nom de titrage en retour.

Méthode Gazométrique.—L'analyse gazométrique permet de déterminer la proportion d'un constituant d'un corps qui peut être solide, liquide ou gazeux, par le mesurage d'un volume gazeux.

Ainsi, par exemple, la proportion de carbonate de calcium dans un calcaire peut être établie en mesurant le volume de l'anhydride carbonique qui se dégage lorsqu'on décompose ce calcaire par l'acide chlorhydrique. Le volume étant connu, on peut calculer le poids correspondant et déduire de ce poids la quantité de CaCO_3 , puisque une molécule de CO_2 représente une molécule de CaCO_3 .

Méthode Colorimétrique.—Comme l'indique son nom, cette méthode permet de doser un élément en se basant sur l'intensité de la coloration que présente l'un ou l'autre de ses composés en solution, pour autant que cette intensité soit proportionnelle à la quantité de matière dissoute.

La méthode, qui n'est applicable que dans un certain nombre de cas, n'est utilisée que pour l'évaluation de quantités de matières trop faibles pour être dosées par les autres procédés. Les teintes, dont l'estimation sert de base au dosage, sont évaluées par comparaison avec les teintes de solutions types contenant des quantités déterminées de l'élément à doser et préparées dans des conditions telles que les résultats puissent être comparables.

EXERCISE 17.

GÉNÉRALITÉS SUR LA CHIMIE ORGANIQUE.

essence de térébenthine = turpentine oil	tenir compte de = to take into consideration
sucré = sugar	enchaînement = linking
essence de moutarde = mustard oil	liaison simple = single bond
formule brute = empirical formula	chef de file = first member
formule de constitution or formule développée = structural formula	composé non saturé = unsaturated compound
série grasse = fatty series	à partir de = starting with
chaîne latérale = side chain	terme = member
squelette = skeleton	graissage = lubricating
noyau = nucleus	point de fusion = melting point
radical, radicaux = radical, radicals	se dédonbler = to break up
	dissolvant = solvent
	flamme fuligineuse = smoky flame
	goudron de houille = coal tar

Dans toutes les substances végétales ou animales, il est un élément qu'on retrouve toujours, c'est le carbone: aussi a-t-on pu dire que la chimie organique est l'étude des composés du carbone. Un grand nombre de ces composés ne contiennent, comme l'essence de térébenthine, que du carbone et de l'hydrogène. D'autres, comme l'alcool et le sucre, contiennent du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. Il en est enfin de quaternaires, comme la quinine; elles contiennent de l'azote, du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène.

D'une manière générale, les matières organiques naturelles, bien que très variées, ne contiennent d'ordinaire dans leur grand état de complexité que quatre éléments: le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, quelquefois on y trouve du soufre, comme dans l'essence de moutarde, ou du phosphore, comme dans la matière cérébrale. Les composés artificiels que les chimistes obtiennent par la transformation des précédents ou par la synthèse peuvent contenir un beaucoup plus grand nombre d'éléments. Ainsi, on a des substances organiques qui contiennent du chlore, du brome, de l'iode, de l'arsenic, du mercure, du zinc, etc.

Pour l'étude des composés organiques comme pour les composés minéraux, les chimistes ont deux méthodes à leur disposi-

tion: l'analyse et la synthèse. L'analyse élémentaire permet de fixer la formule brute d'un composé. En mettant en évidence les valences des corps simples ou des radicaux, on peut, comme en chimie minérale, avoir des formules de constitution. Les formules développées ont en chimie organique une grande importance, étant donné le petit nombre d'éléments qui entrent dans les composés et les isoméries nombreuses que l'on rencontre.

Les hydrocarbures ou carbures d'hydrogène, et les différents corps qui dérivent du méthane CH_4 , constituent ce qu'on appelle la série grasse. On peut représenter les formules de ces composés soit par des chaînes longues, exemple: pentane normal, soit par des formules à chaînes latérales, comme l'isopentane.

Mais on connaît des composés dans lesquels on admet que le squelette des atomes de carbone forme une chaîne fermée ou noyau, tel le benzène. Ce noyau jouit de propriétés spéciales, qui ont fait ranger les carbures d'hydrogène, contenant un noyau benzénique et les corps qui en dérivent dans une autre série appelée série aromatique.

Nous pouvons faire dériver du méthane tous les composés de la série grasse, et du benzène ceux de la série aromatique en remplaçant l'hydrogène de ces carbures par des corps simples ou des radicaux en tenant compte de leur valence.

L'alcool méthylique $\text{CH}_3(\text{OH})$, l'acide formique HCO_2H , l'éthane $\text{CH}_3\text{--CH}_3$, dérivent ainsi du méthane. Le toluène $\text{C}_6\text{H}_5\cdot\text{CH}_3$, l'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}$ dérivent de même du benzène.

Quand un atome de carbone se trouve relié à 4 atomes ou groupes d'atomes de même nature, on peut le concevoir comme occupant le centre d'un tétraèdre régulier dont les sommets sont occupés par les 4 atomes. Cette hypothèse, qui conduit à l'hypothèse du carbone asymétrique, permet de représenter l'enchaînement des atomes de carbone par des liaisons simples, doubles ou triples suivant que les tétraèdres se souderont par le sommet, une arête ou une face. On a ainsi les formules développées dans l'espace ou formules stéréochimiques qu'il est impossible d'indiquer par des autres plans.

On connaît de nombreux cas où on est conduit à attribuer à

un même corps deux formules développées différentes suivant les réactions qu'il présente. Ces formules sont dites tautomères.

Les composés homologues sont ceux dont les formules diffèrent seulement par un certain nombre de fois CH_2 , et qui jouissent de propriétés chimiques très voisines. On peut ranger les corps homologues en séries telles que chaque corps ne diffère du précédent que par CH_2 . C'est ainsi que le méthane sera le chef de file d'une série homologue des carbures CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , etc. De même l'alcool méthylique CH_3O commencera la série homologue des alcools CH_3O , $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$, $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}$, etc.

Les propriétés chimiques caractéristiques communes à tous les corps d'une série homologue constituent ce qu'on appelle la fonction chimique. Cette fonction chimique peut être représentée pour chacun de ces corps par un groupe additionnel que l'on appelle groupement fonctionnel. C'est ainsi que l'alcool ordinaire s'écrira $\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{OH})$, l'aldéhyde $\text{CH}_3(\text{CHO})$, l'acide acétique $\text{CH}_3(\text{CO}_2\text{H})$, CH_2OH , CHO , CO_2H étant les groupements fonctionnels de l'alcool, de l'aldéhyde et de l'acide acétique.

On appellera au contraire squelette, l'ensemble des atomes de carbone liés entre eux, qui restent inattaqués dans la plupart des réactions, et auxquels se fixent les groupements fonctionnels et les radicaux.

L'étude des corps ayant la même fonction chimique se trouve facilitée si on les range en séries homologues, car les corps d'une même série homologue ayant des propriétés chimiques analogues, l'étude détaillée d'un corps important de la série simplifie singulièrement celle des autres corps de la même série; il suffira généralement d'y insister sur les différences essentielles.

L'étude des composés organiques comprend deux parties: la série grasse dans laquelle nous trouverons les corps gras de l'organisme et la série aromatique à laquelle se rattachent les essences et en général les substances douées d'une odeur aromatique. Certaines fonctions particulières à la série aromatique ne se rencontrent pas dans la série grasse.

Carbures d'Hydrogène.—Le méthane, l'éthylène, l'acétylène sont les premiers termes des trois séries homologues des hydrocarbures de la série grasse, représentées par les formules géné-

rales $C_n H_{2n+2}$, $C_n H_{2n}$, $C_n H_{2n-2}$. Dans la série des carbures $C_n H_{2n+2}$ on peut, pour écrire les formules développées, admettre que deux atomes de carbone voisins n'échangent entre eux qu'une valence. Cette liaison simple entre les atomes de carbone est caractéristique des carbures saturés.

Dans les autres séries, les valences du carbone ne sont plus satisfaites si l'on adopte la même convention, et comme ces corps existent cependant à l'état libre, on est conduit à les représenter par des formules où il peut exister entre les atomes de carbone des liaisons doubles et triples. On remarquera aussi que ces doubles ou triples liaisons, caractéristiques des composés non saturés peuvent dans les réactions d'addition être remplacées par des liaisons simples, et on retombera alors sur un corps appartenant à la série des composés saturés.

Si nous prenons les divers carbures saturés, nous voyons qu'à partir du quatrième terme il existe plusieurs carbures ayant même formule et des propriétés différentes, c'est-à-dire des carbures isomères. Ces divers isomères peuvent être représentés par des formules développées distinctes.

Les carbures, où chaque atome de carbone est relié au plus à deux autres atomes de carbone, sont dits carbures normaux. Les isomères de ces carbures normaux peuvent être représentés par des formules dans lesquelles un atome de carbone est relié à trois ou quatre atomes de carbone.

Les carbures d'hydrogène saturés sont homologues du méthane. Tous ces carbures sont caractérisés par ce fait qu'ils ne peuvent donner naissance à aucun composé par addition. Tous leurs dérivés sont formés par substitution de corps simples ou de radicaux à un ou plusieurs atomes d'hydrogène. Les premiers termes de cette série sont gazeux, ceux qui ont un poids moléculaire plus élevé, comme le pentane, sont liquides; enfin les carbures à poids moléculaire encore plus élevé sont solides, comme la paraffine. Ils sont insolubles dans l'eau et résistent à l'action des acides sulfurique et azotique.

Les pétroles sont des produits naturels composés d'hydrocarbures homologues du méthane. Dans l'industrie on distille les pétroles pour en extraire: l'éther de pétrole distillant de 45° à

70°, l'essence de pétrole ou essence minérale distillant de 70° à 120°, du pétrole pour lampes distillant de 150° à 280°, des huiles lourdes qui servent au graissage et d'où se dépose la paraffine par refroidissement. La paraffine est une substance blanche, cristallisable, demi-transparente, dont le point de fusion varie entre 40° et 60°.

Quand l'alcool C_2H_5OH est chauffé avec un excès d'acide sulfurique, il se dédouble vers 160° en éthylène C_2H_4 et en eau H_2O . Les alcools homologues de l'alcool éthylique se déshydratent de même par l'acide sulfurique concentré ou par le chlorure de zinc, sous l'influence de la chaleur, et fournissent les homologues de l'éthylène, dont la formule générale est C_nH_{2n} . Ces carbures sont insolubles dans l'eau, un peu solubles dans l'alcool, plus solubles encore dans l'éther; mais le meilleur dissolvant d'un carbure solide est un carbure liquide. Tous sont combustibles; ceux dont le poids moléculaire est faible, brûlent avec une flamme claire; celle des carbures élevés est fuligineuse. Tous ces carbures sont caractérisés par la facilité avec laquelle ils se combinent, par addition, avec les corps simples ou composés.

Les hydrocarbures acétyléniques sont aussi des carbures non saturés; aussi peuvent-ils fixer sous l'action de la chaleur 2 ou 4 atomes d'hydrogène. Les carbures acétyléniques peuvent être transformés par l'hydrogène en présence du nickel réduit en carbures éthyléniques et en carbures saturés (M. Sabatier). Ces carbures ont une tendance à se polymériser; ainsi l'acétylène chauffé donne de la benzène.

A côté des carbures saturés de la formule générale C_nH_{2n+2} , il en existe d'autres contenant moins d'hydrogène et jouissant cependant des propriétés principales des carbures saturés. On représente ces carbures d'hydrogène par des chaînes fermées ou noyaux, d'une stabilité remarquable, et qui communiquent à la molécule des propriétés spéciales. Ces carbures, appelés pour cette raison carbures cycliques, et les corps qui en dérivent constituent la série cyclique, appelée aussi série aromatique.

Les corps de la série benzénique dérivent d'un hydrocarbure fondamental, le benzène C_6H_6 , comme la série grasse se rattache tout entière au méthane CH_4 . Le benzène est retiré du goudron

de houille ainsi que ses homologues, le toluène et le xylène. Mais les homologues du benzène peuvent aussi être obtenus par une méthode de synthèse due à Friedel et Crafts et qui consiste à faire agir sur le benzène, additionné de chlorure d'aluminium, des chlorures d'alcools de la série grasse.

Ces carbures ont à la fois les propriétés du noyau benzénique et celles des carbures de la série grasse (chaîne latérale). Ils pourront se transformer en composés nitrés et sulfonés, les groupes AzO_2 et SO_3H étant rattachés au noyau benzénique. Le chlore, le brome, pourront être substitués à l'hydrogène soit dans le noyau benzénique, soit dans la chaîne latérale; les composés ainsi obtenus donnent par saponification, les premiers les phénols et les seconds des alcools analogues aux alcools de la série grasse. Les carbures substitués s'oxydent très facilement et ce sont les chaînes latérales qui seules s'oxydent pour donner des groupements CO_2H , quelle que soit la nature de la chaîne. L'acidité de l'acide obtenu par oxydation d'un carbure indiquera donc le nombre de chaînes latérales de ce carbure.

EXERCISE 18.

LES ALCOOLS, LES ACIDES ET LEURS DÉRIVÉS.

éther-sel = ethereal salt, ester	tartre brut = crude tartar
cétone = ketone	lie des vins = argol
goudron = tar	craie = chalk
huile = oil	faire le vide = to evacuate
graisse = fat	corps gras = fats
mise en liberté = set free	suif de mouton = mutton suet
oxyhydrile = hydroxyl group	rancir = to become rancid
produit accessoire = by-product	huile siccative = drying oil
bougie = candle	huile de lin = linseed oil
savon = soap	huile de noix = walnut oil
sable = sand	huile d'œillette = poppy oil
brique pilée = ground brick	s'épaissir = to thicken, to become thick
acide gras = fatty acid	colophane = rosin, colophony
amidon = starch	
sciure de bois = sawdust	

Les alcools sont des corps neutres composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, capables de s'unir directement aux acides

avec élimination d'eau, pour former des éthers sels. Ainsi l'alcool, en agissant sur l'acide acétique, donne de l'acétate d'éthyle et de l'eau, réaction analogue à celle d'un hydrate alcalin sur l'acide acétique.

Les formules des alcools dérivent de celles des carbures par substitution de OH à H dans une chaîne longue ou dans une chaîne latérale. Suivant que la substitution de OH à H porte sur un atome de carbone lié à 1, 2 ou 3 autres atomes de carbone, on a les alcools primaires, secondaires ou tertiaires. Les groupements fonctionnels de ces divers alcools seront: $(\text{CH}_2\text{OH})'$ pour les alcools primaires, $(\text{CHOH})''$ pour les alcools secondaires, $(\text{COH})'''$ pour les alcools tertiaires.

Les alcools primaires, en s'oxydant, perdent de l'hydrogène et donnent une aldéhyde, puis un acide contenant autant d'atomes de carbone que l'alcool qui lui a donné naissance. Les alcools secondaires sont caractérisés par ce fait qu'en s'oxydant ils ne donnent pas d'aldéhyde, mais un cétone isomère de cette aldéhyde; une oxydation plus complète les dédouble en deux acides ayant ensemble un nombre d'atomes de carbone égal à celui de l'alcool. Les alcools tertiaires sous l'influence des agents oxydants, ne fournissent ni aldéhyde, ni cétone, mais donnent immédiatement des acides contenant un nombre d'atomes de carbone inférieur à celui de l'alcool.

L'alcool ordinaire ou alcool éthylique est l'un des corps les plus importants de la chimie organique; il doit cette importance non seulement à ses applications multiples, mais encore à ce fait qu'il est le type d'une classe de corps auxquels on rattache aujourd'hui, soit directement, soit par leurs dérivés, presque tous les composés organiques. L'alcool pur ou absolu est un liquide incolore, très fluide, d'une odeur agréable, d'une saveur caustique et brûlante. C'est un dissolvant précieux d'un grand nombre de substances organiques. Soumis à des actions oxydantes lentes, l'alcool perd deux atomes d'hydrogène et se transforme en aldéhyde et en eau. L'action de l'air en présence du noir de platine, ou celle de l'eau de chlore étendue à froid, ou enfin celle de l'acide sulfurique avec du bioxyde de manganèse ou de bichromate de potassium, produisent cette transformation. Si l'action oxydante

se prolonge, ou si elle est plus énergique, l'alcool se transforme en acide acétique.

L'esprit de bois ou alcool méthylique s'obtient en distillant le bois. Pendant cette distillation, il se dégage des produits volatils formés de goudron, d'eau, d'acide acétique, de produits ammoniacaux, et d'un liquide plus volatil qu'on a appelé esprit de bois. L'alcool méthylique pur est un liquide incolore, d'une odeur éthérée. Il se mêle en toutes proportions avec l'eau, l'alcool et l'éther; il dissout les huiles, les graisses, les résines et les matières colorantes. L'alcool méthylique impur, étant moins cher que l'alcool ordinaire, est fréquemment employé à la place de celui-ci pour la préparation des vernis.

Les éthers sels résultent de l'action des acides sur l'alcool avec élimination d'eau, comme les sels de la chimie minérale résultent de l'action des acides sur les hydrates métalliques; les éthers sont donc des sels de radicaux alcooliques. On les appelle éthers composés quand ils proviennent des oxacides et éthers simples quand ils proviennent des hydracides.

On peut former les éthers composés en chauffant directement l'acide avec l'alcool, mais la réaction, rapide avec les acides minéraux forts, est lente avec les acides organiques, qui sont des acides faibles. L'éthérification est d'ailleurs limitée par la réaction inverse de l'eau sur l'éther formé, qui régénère l'alcool et l'acide. On obtient une éthérification très rapide, même avec les acides organiques, si l'on ajoute au mélange d'alcool et d'acide organique à éthérifier une petite quantité d'un acide minéral, comme l'acide sulfurique. Cette rapide éthérification de l'acide organique, est due, comme l'a montré Berthelot, à ce que l'acide minéral auxiliaire dégage une grande quantité de chaleur en formant des hydrates définis avec l'eau mise en liberté par l'éthérification.

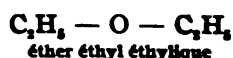
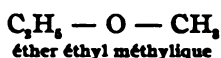
Les éthers composés se dédoublent sous l'influence prolongée de l'eau: aussi doit-on les dessécher pour éviter leur décomposition lente; ils régénèrent l'alcool et l'acide; la présence des alcalis accélère cette réaction, la base se combinant avec l'acide, et l'alcool régénéré peut être isolé par distillation. Cette décomposition des éthers composés par l'eau ou la potasse, qui rappelle

la décomposition des corps gras neutres, a reçu le nom de saponification.

L'ammoniaque, en agissant sur les éthers composés neutres, fournit un procédé général de préparation des amides. Ainsi l'ammoniaque en agissant sur l'acétate d'éthyle, donne l'acétamide et l'alcool.

Quand on fait agir un hydracide sur l'alcool il se produit un éther simple avec élimination d'une molécule d'eau. Le chlorure d'éthyle, l'iode d'éthyle, le bromure d'éthyle sont des éthers simples.

Si, dans la formule d'un alcool comme C_2H_5OH , on remplace l'hydrogène de l'oxhydrile par un radical alcoolique, CH_3 ou C_2H_5 , etc., on a celle d'un éther oxyde comparable aux oxydes alcalins.



Ce dernier n'est autre que l'éther ordinaire qui se produit toutes les fois que l'alcool est chauffé convenablement en présence d'un corps avide d'eau, comme les acides sulfurique ou phosphorique, le chlorure de zinc ou le tétrachlorure d'étain.

Le mémorable travail de Dumas et Péligot sur l'esprit de bois avait généralisé en 1835 le sens du mot alcool; une nouvelle extension lui a été donnée en 1854 par Berthelot. Les éthers donnés par l'alcool ordinaire C_2H_5OH peuvent être regardés comme résultant du remplacement de l'hydrogène de l'oxhydrile de l'alcool par un radical acide. Ex.: éther acétique $C_2H_5O-COCH_3$. Berthelot a établi que dans la glycérine $C_3H_5O_3$, on peut remplacer trois atomes d'hydrogène par un radical acide, l'acétyle C_2H_3O par exemple, et qu'on obtient ainsi trois éthers: monoacétine, diacétine, triacétine. La glycérine peut donc jouer trois fois le rôle d'alcool; elle donne trois éthers acétiques. La découverte d'un trialcool, la glycérine, jouant trois fois le rôle d'alcool, faisait présumer l'existence de dialcools susceptibles de jouer 2 fois le rôle d'alcool. Wurtz a, en effet, démontré, en 1856, qu'il existe des dialcools, intermédiaires entre les alcools et la glycérine, et c'est pour cela qu'ils ont été nommés glycols.

La glycérine existe en grande quantité dans le commerce où on l'obtient comme produit accessoire dans la fabrication des bougies et des savons. C'est un liquide incolore, de consistance sirupeuse et de saveur sucrée. On en emploie de très grandes quantités pour la préparation de la nitroglycérine et par suite des dynamites. La dynamite, inventée en 1867 par A. Nobel, ingénieur suédois, est un mélange de nitroglycérine et d'une matière inerte : le sable, la brique pilée, ou une terre siliceuse (kieselguhr).

Acides.—Les acides organiques proviennent de l'oxydation des alcools ou des aldéhydes. De même que ces derniers sont caractérisés par les groupements CH_2OH ou CHO , les acides seront caractérisés par le groupement COOH appelé carboxyle. Les mono, bi, et triacides contiendront dans leur formule une, deux ou trois fois ce groupement fonctionnel. La propriété chimique fondamentale des acides organiques est de donner, comme les acides minéraux, des sels et des éthers composés qui peuvent être considérés comme résultant du remplacement de l'hydrogène du carboxyle par un atome de métal, ou par un radical alcoolique monovalent. La fonction acide peut être associée dans un même corps à d'autres fonctions ; on a ainsi les acides à fonction mixte (acides-alcools, acides-aldéhydes, etc.).

Par exemple : l'acide acétique est un acide monoacide, l'acide oxalique est biacide, l'acide lactique est un acide alcool, de même que l'acide tartrique qui est biacide et dialcoolique.

L'acide acétique appartient à la série des acides gras. On obtient de l'acide acétique brut ou pyroligneux en calcinant du bois dans des cornues. On obtient aussi l'acide acétique par l'oxydation de l'alcool au moyen d'un ferment (bacille du vinaigre) qui se développe en pellicules minces à la surface des liquides alcooliques contenant des matières azotées et des phosphates. Ce ferment, en se développant au contact de l'air, prend l'oxygène pour le fixer sur l'alcool et le transformer en acide acétique.

L'acide oxalique est assez répandu dans la nature. Dans le laboratoire on le prépare en chauffant doucement 100 grammes de sucre ou d'amidon avec 800 grammes d'acide azotique et 1 litre d'eau. Quand la réaction est terminée, la liqueur laisse peu à peu déposer l'acide oxalique. Dans l'industrie on l'obtient en

chauffant à 200° de la sciure de bois avec un mélange de potasse et de soude. La masse reprise par l'eau froide laisse l'oxalate de sodium peu soluble, que l'on traite par un lait de chaux. L'oxalate de calcium est ensuite décomposé par l'acide sulfurique.

L'acide tartrique droit a été découvert par Scheele en 1770; il existe à l'état de bitartrate de potassium ou de calcium dans les jus des raisins. La croûte saline (tartre) qui se dépose dans les tonneaux où l'on conserve le vin est formée de bitartrate de potassium (crème de tartre) mêlé de tartrate de calcium et de matières colorantes. On dissout le tartre brut ou la lie des vins dans 1 ou 2 pour 100 d'acide chlorhydrique dilué dans l'eau bouillante, qui dissout le bitartrate de calcium et le tartrate de potassium; on filtre, puis on sature le liquide filtré par de la chaux ou par de la craie. Il se précipite du tartrate neutre de calcium; ce tartrate lavé, est décomposé par l'acide sulfurique, qui donne un précipité de sulfate de calcium insoluble et une dissolution d'acide tartrique. Cette liqueur filtrée est évaporée, à basse température, dans les appareils en plomb, où l'on fait le vide, puis mise dans des cristallisoirs où elle laisse déposer de l'acide tartrique granulé, qu'on purifie par de nouvelles cristallisations.

La dissolution de l'acide tartrique est dextrogyre; elle a une saveur acide agréable. L'acide tartrique donne un précipité dans l'eau de chaux et dans l'eau de baryte en excès, ce qui le distingue de l'acide malique. Il ne précipite pas les dissolutions étendues de chlorure de calcium, ce qui le distingue de l'acide oxalique. Ajouté en quantité suffisante dans les dissolutions des sels de cuivre (liqueur de Fehling) ou des sels ferriques, il empêche la précipitation des hydrates correspondants par la potasse.

Corps Gras.—On nomme corps gras des matières neutres, onctueuses au toucher, et laissant sur le papier une tache translucide qui ne disparaît pas sous l'influence de la chaleur. Les corps gras naturels sont généralement, ainsi que l'a reconnu Chevreul en 1814, des mélanges de plusieurs principes immédiats: stéarine, palmitine et oléine. Les corps gras contiennent soit deux de ces principes immédiats comme l'huile d'olive (28 parties de palmitine et 72 d'oléine), soit trois comme le suif de mouton (20 parties d'oléine et 80 d'un mélange de stéarine et de palmitine). Les

corps gras sont moins denses que l'eau. Ils sont solubles dans l'alcool, l'éther et les essences. Ils s'altèrent peu à peu au contact de l'air ; on dit qu'ils rancissent. Les corps gras, solides aux températures ordinaires, sont plus ou moins mous ; on les appelle, suivant leur consistance, beurre, suif, graisse. Les corps gras liquides à la température ordinaire s'appellent huiles.

Les huiles siccatives, comme l'huile de lin, de noix, d'œillette, s'épaississent en absorbant l'oxygène de l'air et dégageant de l'anhydride carbonique ; on les rend plus siccatives encore en les faisant bouillir avec de la litharge ou des sels de manganèse ; elles sont utilisées pour la confection des vernis et des couleurs. Les huiles non siccatives, comme l'huile d'olive, ne perdent pas leur limpidité en s'oxydant. Le peroxyde d'azote les change en une masse solide, par la transformation de l'oléine en une isomère solide, l'élaidine. Le peroxyde d'azote ne solidifie pas les huiles siccatives.

Les savons sont obtenus en saponifiant les corps gras par des bases puissantes ; ce sont de véritables sels : oléates, palmitates et stéarates. On emploie surtout pour cette fabrication, dans le midi de la France, l'huile d'olive de qualité inférieure, ainsi que les huiles de palme, de coco, etc. Les savons à base de potasse (savons mous) et les savons à base de soude (savons durs) sont seuls solubles. Les savons de résine sont constitués par des mélanges de savons ordinaires et de résinate de sodium obtenu par la dissolution de la colophane dans de la lessive de soude.

EXERCISE 19.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES TRAVAUX PRATIQUES DE
CHIMIE ORGANIQUE.

entonnoir en porcelaine = porce- lain funnel	surchauffe = superheating
filtrer dans le vide = to filter by suction	bain-marie = water bath
tampon de coton = cotton plug	tube latéral = side neck
fioles coniques pour filtrer = fil- ter flasks	brûleur = burner
trompe à eau = water suction pump	bain d'huile = oil bath
mettre la trompe en marche = to start the pump	réfrigérant à air = air condenser
filtre à plis = folded filter	distiller à feu nu = to distil over a free flame
plié = folded	soubresaut = bumping
crever = to burst	billes de verre = glass beads
entonnoir à filtration chaude = hot water funnel	tampon = cushion
serpentin = coil	enduit = coated
entraînement à la vapeur d'eau = steam distillation	étanchéité = tightness
ballon à distiller = distilling flask	chaudière = boiler
ampoule à brome = dropping funnel	tube d'arrivée = inlet tube
réfrigérant = condenser	vapeur d'eau surchauffée = super- heated steam
bouchon = stopper	point de fusion = melting point
bouchon de liège = cork stopper	point d'ébullition = boiling point
	facile à monter = easy to set up
	bourrelé soufflé = enlargement
	verre de montre = watch glass
	broyer = to crush
	bon marché = cheap
	contrôler = to calibrate

Filtration.—Pour séparer les solides des liquides, on peut employer différents dispositifs. Celui à utiliser est variable avec la nature du précipité et avec la quantité de liquide à filtrer. Il faut également voir si le produit envisagé se trouve dans le solide restant sur le filtre ou dans le liquide filtré.

S'il s'agit de substances de nature cristalline, filtrant bien, on arrive à les filtrer parfaitement sous pression réduite au moyen d'un entonnoir en porcelaine pour filtrer dans le vide ou bien au moyen de plaques filtrantes de Witt. Ces dernières peuvent être facilement disposées dans un entonnoir en verre de grandeur quelconque. Il faut toujours utiliser deux disques filtrants, celui qui touche la plaque étant plus petit de quelques millimètres.

Comme matière filtrante on emploie ordinairement du papier à filtre. Avec des liquides alcalins ou acides on emploie du papier à filtre durci ou de la simple toile de lin lavée. Pour filtrer de l'acide sulfurique concentré ou de l'acide azotique, les creusets de Gooch à filtre d'amianté conviennent très bien. On peut aussi utiliser un entonnoir en verre dans lequel on place un cône en platine et par dessus un tampon de coton de verre ou d'amianté.

Une condition importante, à laquelle les commençants en particulier ne prêtent malheureusement pas souvent grande attention, est que les appareils utilisés, tels que fioles coniques pour filtrer dans le vide, entonnoirs et filtres, doivent être ou bien tout à fait secs ou bien imprégnés du liquide que l'on filtre. Si l'on a à filtrer une solution benzénique, on humecte le filtre non pas avec de l'eau, mais au contraire avec du benzène. Il n'est généralement pas nécessaire d'humecter le filtre avec le solvant pur, il suffit de l'humecter avec quelques gouttes du liquide à filtrer à la condition de ne mettre qu'ensuite la trompe en marche. Les trompes servant à effectuer les filtrations ne doivent pas donner un vide trop grand, car une succion trop forte, en particulier au commencement, provoquerait une obstruction des pores du filtre par le précipité et la filtration durerait un temps excessivement long.

Les substances résineuses ou les solutions chaudes concentrées qui laissent déposer facilement des cristaux, ne sont jamais filtrées au moyen de ces entonnoirs à filtrer dans le vide, car ceux-ci se bouchent facilement et ne fonctionnent plus. Dans ces cas on emploie soit des filtres ordinaires, soit des filtres à plis. La grandeur de l'entonnoir ne dépend guère que de l'importance du précipité. Pour des liquides difficilement filtrables on choisit cependant la surface filtrante la plus grande possible dans le but de gagner du temps.

Si d'un liquide on veut enlever des impuretés ou de petites quantités de substances, on peut utiliser les filtres employés en analyse quantitative ou mieux encore des filtres à plis. On doit employer alors un papier filtrant rapidement; on veille à ce que le filtre même soit bien plié et avant tout à ce qu'il porte une pointe légèrement tournée qui doit être un peu enfoncée dans la tige de l'entonnoir. Si l'on ne fait pas attention à tous ces détails,

les filtres à plis filtrent bien plus lentement que les filtres ordinaires et de plus ils crèvent facilement.

S'il s'agit de filtrer une solution saturée chaude qui, par refroidissement, dépose facilement des cristaux, il est nécessaire de chauffer l'entonnoir extérieurement. On y parvient en plaçant l'entonnoir dans un entonnoir à filtration chaude, l'eau servant à transporter la chaleur, ou dans un serpentín en tube de plomb dans lequel on fait passer de la vapeur d'eau pendant la durée de la filtration.

Distillation.—La distillation est une des meilleures méthodes que l'on puisse employer pour la purification et la caractérisation des substances, ainsi que pour la séparation des différents corps entre eux. La distillation peut se faire soit à la pression ordinaire, soit sous pression réduite. Il faut également mentionner ici l'entraînement à la vapeur d'eau.

En ce qui concerne les appareils à employer pour effectuer la distillation, il faut se laisser guider par les substances à distiller; c'est-à-dire qu'il faut considérer si le produit distillé ou le résidu de la distillation contiendra le produit cherché.

Il arrive le plus souvent que l'on est obligé de chasser par distillation le solvant d'une solution (par exemple l'éther). L'appareil suivant convient parfaitement. Il est constitué d'un ballon à distiller portant une ampoule à brome et relié à un réfrigérant. A celui-ci est fixée au moyen d'un bouchon de liège une fiole conique pour filtrer dans le vide, portant elle-même un morceau de tube de caoutchouc descendant sur la table d'expériences. Pour éviter la surchauffe on place dans le ballon à distiller un petit morceau de porcelaine poreuse de quelques millimètres carrés de surface (quelques petits tubes capillaires ou un petit morceau de fil de platine fin rendent les mêmes services) et l'on dispose le ballon dans un bain-marie. L'ampoule à brome est alors remplie, par exemple avec une solution éthérée, et l'eau est portée à l'ébullition. On fait écouler lentement le liquide en le laissant tomber goutte à goutte de façon que l'éther soit complètement condensé par le réfrigérant. Pour cela, il faut veiller à ce que la pointe de l'ampoule à brome arrive dans le fond du ballon à distiller et non pas un peu au-dessus du tube latéral, car les vapeurs

d'éther entraineraient mécaniquement un peu de la solution éthérée. On n'introduit jamais de solution éthérée dans l'ampoule à brome sans enlever le brûleur qui se trouve sous le bain-marie ainsi que toute flamme qui se trouverait dans le voisinage immédiat.

On distille de la même façon l'éther de pétrole et le sulfure de carbone. Pour l'alcool et le benzène on peut employer un bain d'huile ou un bain d'eau salée au lieu d'un bain-marie.

Cette méthode de travail doit toujours être employée quand il s'agit de distiller des quantités importantes de substances facilement volatiles ou de séparer deux corps dont les points d'ébullition sont très différents. L'appareil précédent est employé par exemple pour la préparation du p. crésol. L'éther est d'abord chassé au bain-marie; l'ampoule à brome est ensuite remplacée par un thermomètre, le réfrigérant par un réfrigérant à air et finalement le crésol est distillé à feu nu.

De plus on choisit le ballon à distiller suffisamment grand pour qu'il soit rempli à la moitié ou aux deux tiers.

Pour la condensation des vapeurs il faut suivre les règles suivantes: pour les substances dont le point d'ébullition est inférieur à 110° , par conséquent l'éther, le chloroforme, le benzène, on peut employer le réfrigérant ordinaire dans lequel circule de l'eau; pour les substances dont le point d'ébullition est supérieur à 110° comme l'aniline, le nitrobenzène, le benzoate d'éthyle, on emploie ce qu'on appelle un réfrigérant à air, c'est-à-dire un large tube réfrigérant fait avec du verre mince, dont la longueur varie avec le point d'ébullition de la substance envisagée. Avec les substances dont le point d'ébullition est élevé et qui se solidifient rapidement comme le naphthalène, l'anthracène, etc., on distille lentement, directement du ballon à distiller dans le récipient employé pour recevoir le distillat.

S'il se produit de violents soubresauts pendant la distillation, on peut dans certains cas obtenir une ébullition régulière en jetant dans le ballon un petit morceau de fil de platine ou un très petit morceau de porcelaine poreuse. De temps à autre on peut arriver au même résultat en ne plaçant pas la flamme du Bunsen sous le ballon à distiller, mais en chauffant un peu sur le côté.

S'il s'agit de séparer deux ou plusieurs substances dont les points d'ébullition sont voisins, on peut employer le ballon à distiller ordinaire, mais il faut faire de nombreuses distillations fractionnées. Il est préférable d'employer ce que l'on appelle des colonnes de rectification. Les meilleures sont les colonnes remplies de billes de verre. On obtient une séparation d'autant meilleure que la colonne à distiller est plus haute.

Distillation Dans Le Vide.—Un grand nombre de substances qui se décomposent facilement par distillation sous la pression ordinaire sont distillables sans décomposition sous pression réduite. On doit employer la distillation dans le vide partout où cela est possible. Elle permet dans bien des cas une purification parfaite de certaines substances.

Le diphénylsulfone $C_6H_5-SO_2-C_6H_5$, par exemple bout à :

376°4 sous 722 millimètres de pression.

232°5 " 18 " " "

140° " 0 " " "

Pour les usages ordinaires, les trompes à eau donnant un vide de 12 à 15 millimètres suffisent parfaitement. S'il faut avoir des pressions encore plus faibles, il faut employer des trompes à mercure ou des trompes à joints d'huile.

Pour mesurer la pression on emploie des manomètres à mercure; pour des pressions très faibles on utilise les tubes de Hit-torf qui commencent à s'illuminer sous une pression d'environ un millionième d'atmosphère. Le manomètre de Mac Loed convient également très bien.

Une condition importante pour avoir une bonne distillation est d'intercaler un récipient entre l'appareil et la trompe; cet appareil servira pour ainsi dire de tampon et d'égaliseur de pression.

Pour fermer l'appareil on utilise de bons bouchons de liège, enduits de collodion ou de solution de caoutchouc, ou mieux encore de bouchons de caoutchouc. Avant de commencer la distillation on examine l'appareil au point de vue de son étanchéité, on enduit au besoin encore une fois les bouchons avec de la solution de collodion au moyen d'un pinceau et l'on essaie si les récipients supportent la pression (mettre des lunettes ou travailler

derrière une vitre protectrice). Il est bon, pendant la distillation, de faire passer à travers tout l'appareil un lent courant gazeux (air, acide carbonique ou hydrogène), amené au moyen d'un tube capillaire. La vitesse est réglée par le diamètre du tube capillaire et peut être encore réglée par un tube de caoutchouc enfoncé sur le tube capillaire et muni d'une pince de Mohr. La température est mesurée avec un thermomètre qui peut être enfoncé dans le tube de verre étiré en tube capillaire ou être placé dans une deuxième ouverture du bouchon de caoutchouc.

S'il s'agit d'une simple distillation on peut utiliser un ballon à distiller comme réfrigérant récepteur. Si l'on veut faire un fractionnement, on se sert d'un appareil muni de récipients récepteurs différents et de grandeur quelconque.

Le chauffage du ballon à distiller ne doit jamais être fait à feu nu, mais toujours dans un bain d'huile, un bain d'air ou un bain métallique que l'on porte à une température de quelques degrés supérieure au point d'ébullition de la substance considérée.

Suivant la volatilité de la substance on refroidit les récipients de condensation avec de l'eau, de la glace ou de l'air liquide.

Entrainement à la Vapeur d'Eau.—Un excellent moyen très employé pour purifier ou séparer des substances organiques est l'entraînement à la vapeur. On utilise à cet effet l'appareil suivant : pour produire la vapeur, on prend une chaudière en cuivre dans laquelle est fixé un tube de verre qui descend presque jusqu'au fond. La vapeur dégagée débouche dans un ballon contenant la substance. Il est bon de disposer le ballon obliquement et de courber légèrement vers le bas le tube d'arrivée de vapeur pour éviter un entraînement de la substance par jaillissement. Il est également bon de commencer par chauffer le ballon et, si cela est nécessaire, de continuer le chauffage pendant l'opération elle-même pour éviter une trop forte condensation de la vapeur.

Si la substance qui passe fond au-dessus de 100° , on emploie un réfrigérant de Liebig et de temps en temps, en arrêtant le courant de vapeur, on enlève mécaniquement, au moyen d'un fil, la substance qui s'est séparée. Avec celles qui fondent au-dessous de 100° , on peut faire descendre la substance en la ramenant à l'état fondu en arrêtant le courant d'eau refroidisseur.

Si la substance est difficilement entraînable à la vapeur, l'emploi de la vapeur d'eau surchauffée est avantageux. Dans ce but on intercale entre la chaudière et le ballon un serpentin en cuivre chauffé au moyen d'un fort brûleur, serpentin dans lequel on fait passer la vapeur.

Détermination du Point de Fusion.—Parmi les nombreux appareils plus ou moins compliqués inventés dans ce but, le suivant se recommande comme étant le meilleur; il est facile à monter, il n'est pas onéreux et enfin il fournit de bons résultats.

Il est constitué par un ballon à fond rond de 50 centimètres cubes de capacité, rempli jusqu'à la moitié environ par de l'acide sulfurique concentré. Dans celui-ci plonge un tube à essai qui est maintenu par un bourrelet soufflé. Ce tube à essai contient suffisamment d'acide sulfurique pour que le réservoir du thermomètre soit complètement recouvert. Le niveau de l'acide dans les deux récipients doit être à peu près le même. La substance est contenue dans de petits tubes que l'on étire dans un tube de verre.

La substance est pulvérisée dans un verre de montre et introduite dans le tube en donnant des chocs sur le tube ou au besoin en comprimant au moyen d'un fil de platine fin ou d'un fil de verre. La hauteur de la colonne de substance doit être de 1,5 à 2 millimètres. Il est superflu d'assujettir le petit tube contenant la substance au thermomètre, car l'adhérence les maintient suffisamment.

L'acide sulfurique se colore peu à peu en brun par suite de la chute de substance organiques (poussière, etc.). En y introduisant un petit cristal de salpêtre il redevient complètement clair par chauffage.

On peut, en général, avec cet appareil, en employant l'acide sulfurique comme liquide transmettant la chaleur, déterminer le point de fusion de substances fondant jusqu'à environ 280° environ. Pour des corps fondant à température plus élevée (jusqu'à 360°), on remplace l'acide sulfurique par de l'huile de vaseline bouillante à haute température, ou bien encore par une dis-

solution de bisulfate de potassium dans de l'acide sulfurique concentré.

Pour déterminer le point de fusion, on chauffe rapidement le bain jusqu'à une température inférieure de 20° environ à celle pour laquelle la fusion se produit, on diminue ensuite la flamme et l'on fait monter lentement la température. S'il s'agit de comparer deux substances obtenues par des méthodes différentes, on procède à l'essai par mélange. Pour cela on broie quelques grains des deux substances de façon à les mélanger intimement et l'on détermine le point de fusion du mélange. Une diminution notable du point de fusion indique que les deux substances sont différentes.

Les thermomètres ordinaires bon marché ne sont sensiblement exacts que jusqu'à des températures de 250° à 300°. On les contrôle de temps en temps en déterminant le point d'ébullition de substances connues. Pour cela on utilise l'eau jusqu'à 100°, au-dessus, le benzoate de méthyle, le naphthalène et l'anhydride phtalique jusqu'à 285°.

Pour des déterminations exactes de points de fusion et de points d'ébullition, on utilise ce qu'on appelle des thermomètres normaux. Il faut également les contrôler de temps en temps.

EXERCISE 20.

PRÉPARATION DE SUBSTANCES ORGANIQUES.

réfrigérant à reflux = reflux con- denser	prise d'essai = sample
ampoule à décantation = separa- tory funnel	débit d'eau = flow of water
flamme éclairante = smoky flame	additionner de = to treat with
fusion à la soufflerie = sealing with the blast	chassé par distillation = driven over by distillation
ballon taré = tared flask	tournure de zinc = zinc turnings
rendement = yield	papier iodoamidonné = starch iodide paper
iodure d'alcyle = alkyl iodide	trouble = cloudiness
goulot = neck of flask	acide brut = commercial acid
crochet = hook	glace pilée = crushed ice
toile métallique = gauze	conserve = glass jar
louche = turbidity	acide acétique cristallisable = gla- cial acetic acid
hotte = hood	se prendre en une masse cristal- line = to solidify to a crystal- line mass
étain en grenaille = granulated tin	
amorcer = to prime, to start	

IODURE DE MÉTHYLE.

Dans un ballon de 150 centimètres cubes environ on introduit 5 grammes de phosphore rouge et 40 centimètres cubes d'alcool méthylique, et l'on ajoute par petites portions 50 grammes d'iode pulvérisé; l'iode doit être ajouté en trois quarts d'heure. Pendant l'introduction de l'iode, le ballon est agité de temps à autre et est refroidi par immersion dans l'eau froide. Lorsque tout l'iode a été ajouté, le ballon est muni d'un réfrigérant à reflux et chauffé au bain-marie pendant une heure. Le chauffage doit être surveillé attentivement, de façon que le liquide ne bouille pas trop fort. Lorsque le temps indiqué est écoulé, le ballon toujours réuni au réfrigérant, est bien refroidi par immersion dans l'eau froide, et l'iodure de méthyle formé est chassé par distillation au bain-marie dans l'appareil que représente la figure. L'extrémité du réfrigérant plonge dans de la glace broyée qui empêche une vaporisation de l'iodure de méthyle qui est très volatil.

Quand tout est passé, ce que l'on reconnaît facilement à ce qu'il ne se condense plus aucune goutte huileuse dans le réfrigé-

rant, on enlève le tube courbé en forme d'U et l'on ajoute au distillat quelques gouttes de lessive de soude pour dissoudre l'iode entraîné. L'iodure de méthyle est alors séparé avec soin de la couche aqueuse dans une ampoule à décantation, et on le fait couler dans un petit ballon à fond plat de 50 centimètres cubes. Ce ballon doit être sec. Par addition de 3 grammes environ de chlorure de calcium fondu, l'iodure de méthyle un peu trouble devient rapidement complètement limpide et anhydre. On peut directement le faire écouler dans un ballon taré ou au besoin le filtrer à travers un petit filtre.

Le rendement s'élève à 50 grammes; le point d'ébullition est $42^{\circ},8$.

S'il s'agit maintenant de préparer l'iodure d'éthyle, on opère exactement de la même façon en employant cette fois l'alcool éthylique. Puisque l'iodure d'éthyle bout à une température plus élevée, on doit, après que la majeure partie est passée par chauffage au bain-marie, distiller les dernières portions en chauffant avec une flamme éclairante.

L'iodure d'éthyle bout à $72^{\circ},2$. Ces deux substances étant très volatiles, il faut les conserver dans des récipients bien fermés. Le mieux est de les verser dans des flacons à long col, en verre mince, que l'on peut facilement fermer par fusion à la soufflerie. L'introduction des iodures d'alcoyle par le col étroit s'effectue au moyen d'un tube à essai étiré en forme d'entonnoir.

BROMURE D'ÉTHYLE.

Dans un ballon à fond rond jaugeant 200 à 300 centimètres cubes, on place 10 grammes de phosphore rouge et 90 centimètres cubes d'alcool éthylique. Le ballon est muni d'un réfrigérant à reflux à l'ouverture supérieure duquel est placée une ampoule à brome contenant 20 centimètres cubes de brome. (N. B.—Entre la tige de l'ampoule à brome et les parois du réfrigérant, il faut laisser un espace suffisant pour permettre l'égalisation de la pression, aussi l'ampoule à brome ne doit-elle pas être fixée au réfrigérant par un bouchon).

On fait tomber le brome lentement, goutte à goutte, en réglant l'addition de façon que le contenu du ballon reste chaud. Si

la réaction devient trop vive, on refroidit en immergeant dans l'eau froide. Lorsque tout le brome a été ajouté, on abandonne le mélange à lui-même pendant une heure, et l'on chauffe au bain-marie jusqu'à disparition des vapeurs de brome. Le bromure d'éthyle formé est distillé au bain-marie au moyen de l'appareil décrit pour l'iodure de méthyle, et on le recueille sous de la glace assez finement broyée. Lorsque la distillation est terminée, on alcalinise faiblement avec un peu de lessive de soude, on verse dans un entonnoir à décantation et on laisse les deux couches se séparer. Le bromure d'éthyle est alors mis dans un ballon, séché avec du chlorure de calcium fondu (le ballon doit être muni d'un bouchon de liège fermant bien) et transvasé dans un ballon de Würtz de 100 centimètres cubes taré; on le distille dans ce ballon après détermination du rendement brut.

Il faut veiller à ce que le réfrigérant soit absolument sec¹ et à ce que le récipient récepteur soit bien refroidi avec de la glace. Le ballon n'est pas chauffé à feu nu, mais au bain-marie à 50°. Entre 38° et 40° passe tout le bromure d'éthyle. Le rendement s'élève à 75 grammes, mais il diminue dès que l'on ne refroidit pas avec suffisamment de soin; il en est de même quand on abandonne le bromure d'éthyle pendant longtemps en vase ouvert, ce qui provoque une volatilisation partielle de la substance.

Le bromure d'éthyle est conservé dans les mêmes flacons que les iodures d'alcoyle.

ETHER.

Pour préparer l'éther on utilise l'appareil suivant: un ballon à fond rond de 500 centimètres cubes de capacité à large goulot est bouché avec un bouchon de liège à trois trous; le bouchon de liège doit être pressé et présenter le moins possibles de pores; s'il ne semble pas suffisamment étanche, il faut l'enduire d'une solution de collodion avant de commencer l'expérience. Le bouchon porte: 1° le thermomètre; 2° un tube courbé en forme d'U; 3° une ampoule à brome dont l'extrémité est étirée en un tube capillaire et recourbée en forme de crochet.

¹ Il faut veiller à ce que le réfrigérant soit sec = one must take care that the condenser be dry.

Au tube en U est joint un réfrigérant qui est relié de son côté à une fiole conique pour filtrer dans le vide. Celle-ci porte un long tube de caoutchouc et, ce que la figure ne représente pas, est refroidi extérieurement par de la glace.

Dans le ballon on met 90 centimètres cubes d'alcool éthylique, et on ajoute avec précaution, en agitant et en refroidissant avec de l'eau, 100 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré. Après que l'ampoule à brome a été chargée d'alcool de façon que la tige en soit complètement remplie, l'appareil est remonté. Il faut veiller à ce que le réservoir du thermomètre, ainsi que la pointe de l'ampoule à brome plongent dans le liquide. On chauffe à 140° en utilisant une toile métallique, et à cette température, on fait arriver l'alcool goutte à goutte et lentement. On règle l'arrivée de l'alcool et le chauffage, de façon que la température reste comprise entre 140 et 145° . L'éther formé distille. Lorsque 200 centimètres cubes d'alcool ont été ainsi utilisés, le distillat est transvasé dans une ampoule à décantation et additionné d'un peu d'eau et de lessive de soude diluée jusqu'à réaction faiblement alcaline; on agite énergiquement et l'on fait écouler l'eau après séparation des deux couches. On sort l'éther de l'ampoule à décanter, on le sèche avec du chlorure de calcium (10-15 grammes), on le verse sur un filtre sec, on le pèse et on le redistille au bain-marie en observant les précautions indiquées pour le bromure d'éthyle. Point d'ébullition: 35° .

CHLORURE D'ACÉTYLE.

Pour le préparer, on utilise l'appareil suivant:

Il est constitué par un ballon à distiller de 200 centimètres cubes de capacité portant une ampoule à brome et relié à un réfrigérant. Celui-ci supporte encore un ballon à distiller de 100 centimètres cubes de capacité, relié à un tube à chlorure de calcium. Tout l'appareil doit être rigoureusement sec.

Dans le ballon à distiller on met 60 grammes d'acide acétique cristallisable et dans l'ampoule à brome 45 grammes de trichlorure de phosphore que l'on fait couler dans un temps assez court dans l'acide acétique en agitant de temps en temps. Les deux liquides se mélangent d'abord; au bout de quelque temps il se

forme un louche et peu à peu deux couches; ce phénomène est accompagné d'un fort dégagement d'acide chlorhydrique (opérer sous une hotte). Quand la masse ne s'échauffe plus et que les deux couches sont nettement formées, le chlorure d'acétyle est séparé de l'acide phosphoreux par distillation en chauffant au bain-marie. Le chlorure d'acétyle ainsi préparé n'est pas complètement pur; il contient encore un peu de trichlorure de phosphore que l'on élimine en traitant par l'acétate de sodium anhydre et en distillant ensuite (point d'ébullition 51°). Ceci n'est cependant pas nécessaire pour la préparation de l'anhydride acétique. Pour la recherche du chlorure de phosphore on décompose quelques gouttes de chlorure d'acétyle par de l'eau (effectuer l'opération sous une hotte). L'acide phosphoreux formé est oxydé en acide phosphorique par ébullition avec de l'acide nitrique et celui-ci est ensuite décelé au molybdate d'ammonium.

L'acide acétylphosphoreux qui forme le résidu de la distillation peut être transformé en acide phosphoreux; on y arrive en évaporant plusieurs fois au bain-marie avec de l'eau jusqu'à disparition de l'odeur de l'acide acétique.

ANILINE.

Dans un ballon à fond rond muni d'un réfrigérant à reflux on place 50 grammes de nitrobenzène et 71 grammes d'étain en grenaille; on ajoute environ 20 à 30 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré ordinaire (densité 1,16 correspondant à 33 % HCl) et l'on chauffe jusqu'au voisinage de l'ébullition. Au besoin¹ on peut, pour amorcer la réaction, ajouter 1 gramme de zinc. La masse entre en vive ébullition; on retire alors la flamme et l'on ajoute encore peu à peu 260 centimètres cubes d'acide chlorhydrique ordinaire de façon que le liquide reste en vive ébullition sans que du nitrobenzène soit entraîné hors du réfrigérant. Lorsque la réaction a diminué peu à peu d'intensité, on chauffe encore pendant quelque temps jusqu'à ce qu'il ne se condense plus de gouttes huileuses de nitrobenzène dans le réfrigérant et que l'on ne puisse plus percevoir son odeur. Lorsque tout le nitrobenzène a été réduit, on laisse refroidir à 50° - 60° en-

¹ Au besoin = if need be.

viron, il se dépose parfois un sel double d'étain et de chlorhydrate d'aniline [$(C_6H_5.NH_2.HCl)_2SnCl_4$] et l'on ajoute en agitant 300 centimètres cubes environ de lessive de soude à 31% ($d = 1,34$). Il faut veiller à ce que la masse ne s'échauffe pas au point d'entrer en ébullition. Le chlorure stannique est d'abord précipité sous forme d'hydrate qui se redissout dans un excès d'alcali avec formation de stannate, tandis que le chlorhydrate d'aniline fournit la base. On peut reconnaître la fin de la réaction à ce que le précipité primitivement formé se redissout presque complètement et à ce que le liquide a une réaction fortement alcaline. On entraîne immédiatement l'aniline à la vapeur jusqu'à ce qu'une prise d'essai effectuée sur le distillat ne donne plus de précipité de tribromoaniline avec l'eau de brome, ou de coloration violette caractéristique avec une solution de chlorure de chaux. En général, 500 centimètres cubes de distillat suffisent. De ce liquide on extrait l'aniline, qui s'y trouve en partie dissoute et en partie en suspension, par deux ou trois agitations effectuées chacune avec 40 ou 50 centimètres cubes d'éther et l'on sèche la solution éthérée avec du carbonate de soude calciné. On chasse l'éther de la solution éthérée au moyen du dispositif indiqué précédemment et l'on distille l'aniline qui reste sous forme d'une huile légèrement colorée en jaune, en ajoutant 2 grammes de poudre de zinc; on utilise un réfrigérant à air. Tout passe exactement à 183° . Rendement: 35 grammes = 90% de la théorie.

L'aniline distillée en présence de poudre de zinc est limpide comme de l'eau et reste incolore si on la conserve dans l'obscurité.

O-ET P.-NITROPHÉNOLS.

On dissout 40 grammes d'azotate de sodium dans 100 centimètres cubes d'eau et l'on y ajoute 35 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré. Pendant que le liquide se refroidit, on chauffe dans une capsule en porcelaine 25 grammes de phénol avec 10 centimètres cubes d'acide acétique cristallisable; au moyen d'une ampoule à brome on fait ensuite couler lentement et en agitant la solution obtenue dans le mélange acide refroidi à 30° et placé dans un becherglas à parois épaisses. En refroidissant extérieurement on maintient la température entre 30° et 35° .

Lorsque tout le phénol a été ajouté on agite encore pendant une heure et l'on abandonne à soi-même pendant trois à quatre heures. Le mélange tout d'abord huileux d'ortho et de paranitrophénols se prend ainsi en une masse cristalline brun jaune. (Si l'huile ne se solidifie pas, on met le becherglas dans un mélange réfrigérant et la masse cristallise immédiatement.) On la filtre rapidement à la trompe (sur un filtre en étoffe), on la lave avec un peu d'eau glacée et l'on entraîne l'orthonitrophénol à la vapeur. L'opération doit être attentivement surveillée et le débit de l'eau du réfrigérant doit être réglé de façon que le réfrigérant ne vienne pas à être bouché par de l'orthonitrophénol qui se déposerait. L'orthonitrophénol qui passe est absolument pur. Il se solidifie en une masse cristalline jaune que l'on filtre et que l'on sèche à la température ordinaire. Point de fusion: 45° ; rendement: 11 grammes, 5.

La masse rouge non entraînable à la vapeur est additionnée de carbonate de soude à la température de l'ébullition jusqu'à ce qu'elle ne bouillonne plus. La solution brune est séparée de traces de résine par filtration; on la concentre au besoin à 200 centimètres cubes environ et l'on y ajoute à chaud 30 centimètres cubes de lessive de soude à 30%. En refroidissant rapidement, le sel de sodium du paranitrophénol peu soluble se sépare en paillettes jaunes que l'on filtre à la trompe (en employant un filtre en étoffe) et qu'on lave avec une lessive de soude à 10%. Le sel est redissous dans un peu d'eau, il est précipité à nouveau avec de la lessive de soude, filtré et décomposé par de l'acide chlorhydrique dilué. Le paranitrophénol se sépare ainsi sous forme d'une poussière grise, ayant l'aspect du sable, que l'on extrait à l'éther. L'extrait est séché au chlorure de calcium, l'éther est chassé par distillation et le p. nitrophénol reste sous forme d'une masse légèrement colorée en brun (13 grammes) que l'on fait cristalliser au besoin dans un mélange de benzène et de ligroïne. On obtient le p. nitrophénol en grandes aiguilles légèrement colorées fondant à 115° (12 grammes).

O.-CHLOROTOLUÈNE.

Réaction de Sandmeyer.—Dans un ballon à fond rond de 1 litre

et demi de capacité, on ajoute 20 centimètres cubes d'eau et 20 grammes de tournure de zinc à une solution verte de 50 grammes de chlorure cuivrique dans 100 centimètres cubes d'acide chlorhydrique brut à 33% et l'on chauffe à l'ébullition jusqu'à ce que la solution primitivement brun foncé passe au brun clair et que le chlorure cuivreux engendré commence à former une croûte cristalline incolore.

A ce moment on dispose environ 600 grammes de glace grossièrement pilée dans une conserve; on y verse en agitant 130 centimètres cubes d'acide chlorhydrique brut, ce qui fait descendre la température à -18° , et l'on introduit en agitant 54 grammes d'o.-toluidine (1 molécule). Celle-ci se dissout tout d'abord, puis se sépare aussitôt sous forme d'une poudre cristalline blanche qui est le chlorhydrate de cette base. On ajoute alors dans un temps relativement court une solution de 35,5 grammes de nitrite de sodium industriel dans 100 centimètres cubes d'eau en agitant énergiquement, et le chlorhydrate qui s'était séparé se dissout. Dans une opération bien conduite la température du liquide reste inférieure à 0° , l'acide nitreux ne se dégage pas et le papier iodo-amidoné bleuit légèrement.

On verse alors assez rapidement la solution claire de ce diazo dans la solution chaude de chlorure cuivreux presque incolore, en continuant à chauffer et en agitant le ballon de façon que la température atteigne environ $30-40^{\circ}$. L'o. chlorotoluène se sépare en une huile brune, et il se produit un vif dégagement d'azote. On fait un entrainement à la vapeur, on ajoute au distillat un peu de lessive de soude pour dissoudre l'o.-crésol formé simultanément et l'on sépare l'o.-chlorotoluène légèrement rougeâtre et la solution alcaline dans une ampoule à décanter. On obtient ainsi 58 grammes de produit brut que l'on déshydrate par un court chauffage avec un peu de chlorure de calcium fondu; ce produit brut fournit par distillation 53 grammes d'o.-chlorotoluène bouillant entre 152 et 160° (la majeure partie à 156°).

EXERCISE 21.

PROPRIÉTÉS ET LOIS GÉNÉRALES DE L'ÉTAT GAZEUX.

lien = tie, bond	débarrasser = to free
régir = to govern	relier = to link, to bind
énoncé = statement, outline	le moindre = the least
faussé = inaccurate, vitiated	dénudée = devoid, deprived
de sens contraire = in opposite direction, inverse	vis-à-vis = toward
au détriment de = at the expense of	corrigé = corrected
dans le même sens que = directly as	tenir compte de = to take into account
	carré = square

Sous la forme de gaz ou de vapeurs aucun lien ne retient plus les molécules qui tendent à s'éloigner de plus en plus les unes des autres, les fluides qui les constituent étant caractérisés par une puissance d'expansion leur permettant de remplir des espaces de grandeur et de forme quelconque,¹ et qui n'est limitée que par la résistance des parois des récipients qui les renferment.

Les molécules gazeuses se meuvent librement dans des enceintes de volume quelconque qu'elles remplissent toujours entièrement, et on ne peut mesurer une masse gazeuse qu'en tenant compte de conditions variables de comparabilité qui lui sont propres: le volume, la pression, la température, l'état hygrométrique. Sous cette forme, la matière obéit à des lois intéressantes à connaître, et possède des propriétés remarquables et dignes de retenir notre attention.

Les variations de pression et de température influencent le volume de tous les gaz de la même façon générale, quelles que soient² les autres propriétés physiques et chimiques: ces faits sont régis par des lois générales, dont voici les énoncés.

I—Loi de Mariotte, dite aussi Loi de Boyle.—A une même température, les volumes d'une même masse gazeuse sont inversement proportionnels aux pressions qu'elle supporte: $p \cdot v = \text{constante}$, qui correspond à l'énoncé suivant de la loi: à température

¹ de grandeur et de forme quelconque = of any size and shape.

² quelles que soient = whatever may be.

constante, le produit du volume d'une masse de gaz par la pression qu'elle supporte, est constant.

Cette loi fut d'abord admise comme rigoureusement vraie; mais les progrès réalisés dans l'art expérimental nous ont appris qu'elle n'échappe pas à l'infirmité de toute loi physique, qui est d'être plus ou moins faussée dans chaque cas particulier.

D'une façon générale, lorsqu'on soumet, à température constante, un gaz à une pression de plus en plus grande, on peut observer deux cas: ou bien le volume du gaz diminue d'abord plus rapidement qu'il ne devrait le faire, si la loi de Boyle-Mariotte était vraie, puis la variation tend à devenir régulière, le produit $p. v.$ devenant presque constant; puis une variation de sens contraire à la première se manifeste, et brusquement, à un moment donné, le produit $p. v.$ croît de façon désordonnée. Ce sont les gaz de cet ordre que l'on a considérés longtemps comme étant les gaz non liquéfiables, autrement dits, permanents. Cette expression n'est plus vraie aujourd'hui, et si on la conserve quelquefois dans le langage courant, c'est en lui donnant un sens autre que le sens primitif, et dont nous aurons l'explication au moment où nous étudierons le point critique. Enfin, pour une seconde catégorie de gaz, dès que la pression croît, le produit $p. v.$ diminue et pour une pression déterminée, la matière comprimée ne reste plus homogène, mais se sépare en deux couches: il y a eu liquéfaction d'une partie du volume gazeux. A partir de ce moment, le volume diminuant toujours, la pression ne croît plus; seul, le volume du liquide augmente au détriment de la masse gazeuse, et, au moment où tout l'espace libre est occupé par la masse liquide, la pression monte rapidement: le gaz est remplacé par un liquide.

Quand, à une variation de pression, s'ajoute un changement de température, le volume final est donné par l'application de la loi précédente et de la loi de Gay-Lussac.

Loi de Gay-Lussac.—Les coefficients de dilatation à pression constante et à volume constant, à partir d'une température donnée, sont pour tous les gaz une seule et même constante qui ne dépend que de la température initiale.

Elle est de $1/273$ par degré de température, à partir de zéro de-

gré. Cette loi peut encore se mettre sous la forme des deux propositions suivantes plus accessibles aux applications :

I. Le volume d'une masse gazeuse quelconque à pression constante varie dans le même sens que la température absolue ;

II. La pression d'une masse gazeuse, à volume constant, varie dans le même sens que la température absolue.

On combine souvent la loi de Gay-Lussac et celle de Mariotte dans un seul et même énoncé algébrique :

$$p \cdot v = p_0 v_0 (1 + \alpha t)$$

qui donne le volume v en fonction du volume v_0 de la température t , de la pression p et du coefficient de dilatation $\alpha = 1/273$. D'où on peut déduire en se servant de la température absolue : $T = 273 + t$:

$$\frac{p \cdot v}{T} = \frac{p_0 v_0}{273} = \text{constante.}$$

Expression très générale, que l'on peut traduire, en langage ordinaire, en disant : le produit du volume par la pression pour une même masse gazeuse, divisé par la température absolue, est une quantité constante.

Phénomènes de Vaporisation et de Condensation.—On donne le nom de vapeurs aux fluides gazeiformes obtenus par l'échauffement des liquides ; et ces fluides gazeux se distinguent des gaz proprement dits par la facilité avec laquelle ils reprennent l'état liquide. Ce sont des gaz, mais des gaz au voisinage de leur point de liquéfaction.

Quand une vapeur est séparée de son liquide générateur, elle peut prendre, sous l'action de la chaleur, un état semblable à celui d'un gaz, et dans ces conditions elle obéit d'autant mieux aux lois de Boyle-Mariotte et de Gay-Lussac, qu'elle est éloignée de son point de liquéfaction. Considérée en présence du liquide générateur, elle se comporte tout différemment ; et le moindre refroidissement, ou la moindre compression en provoque la condensation, et elle ne suit plus du tout les lois simples de l'état gazeux. Les vapeurs de la première catégorie sont dites surchauffées, et celles de la seconde espèce, saturées. Les gaz soumis à des pressions croissantes, diminuent de volume en raison de la loi de

Mariotte; mais ce volume n'est pas exactement celui qu'il devrait être, si la loi était rigoureusement applicable. Tous les corps gazeux, au-delà d'une certaine température caractéristique du gaz, suivent plus ou moins exactement la loi, et sans changer d'état, la pression croissant sans limite; mais si l'on se trouve au-dessous de cette température caractéristique, la pression croissant sans cesse, il arrive un moment où le gaz cesse d'obéir à la loi, et se liquéfie. C'est maintenant un liquide, et qui suivra comme tel, les lois de la compression des liquides.

On a donné à cette température le nom de température critique. Cette propriété de l'état gazeux, entrevu par Gagnard de la Tour, fut définitivement établie par Andrews, qui montra en 1869 qu'il y a pour chaque gaz une température critique au-dessus de laquelle la liquéfaction n'est plus possible, et à laquelle la liquéfaction se fait sous l'influence d'une pression déterminée sans changement de volume.

Tension de Vapeur.—Tout liquide tend à prendre l'état gazeux, et la mesure de cette tendance est ce qu'on appelle la tension de vapeur du liquide. Les liquides manifestent cette tendance à des degrés variables. Si l'on abandonne de l'eau, dans un vase ouvert et à la température ordinaire, elle émet des vapeurs, mais la tension de ces vapeurs est peu élevée, et l'eau ne s'évapore que lentement. Au contraire, de l'alcool, dans les mêmes conditions, ou de l'éther sulfurique, s'évaporent avec une bien plus grande rapidité.

Si on remplace l'eau, l'alcool et l'éther par du mercure, celui-ci a bien encore une tension de vapeur, mais elle est très faible, et il faudrait un temps pratiquement infini pour le faire disparaître.

Pour chaque liquide il existe à une température donnée, une tension de vapeur déterminée et fixe. C'est la tension de saturation de la vapeur. Elle est indépendante de la masse du liquide et varie seulement pour un même liquide avec la température et la pression. Pour tous les liquides, la tension de vapeur croît avec la température, et cela explique que l'évaporation des liquides soit plus active à mesure que la température croît.

Quand la tension de vapeur du liquide égale la pression extérieure, le liquide se transforme librement en vapeur et il est dit

être en ébullition. Quand on chauffe un liquide dans un espace clos, la zone de séparation du liquide et des vapeurs, nette au début, devient de moins en moins distincte, et pour une température qui est la température critique de la vapeur, la zone de séparation disparaît et il est impossible de distinguer le liquide de sa vapeur : à ce moment la pression régnante est la pression critique.

Distillation de Mélanges Volatils.—L'expérience montre que l'ébullition de deux corps volatils varie: le point d'ébullition du mélange est abaissé au-dessous du point d'ébullition du corps dont le point d'ébullition est le plus élevé, mais cet abaissement dépend de la somme des tensions de vapeur des deux substances.

Prenons par exemple un mélange d'eau et d'alcool. La vapeur du mélange renfermera à la fois des vapeurs d'alcool et de la vapeur d'eau; et le mélange entrera en ébullition à une température telle que la somme des deux tensions de vapeurs soit égale à la pression exercée par l'atmosphère, sur le mélange liquide. En général, la composition du mélange liquide est différente de celle de la vapeur qu'il émet; il en résulte que le liquide s'appauvrit constamment en un de ses éléments et à mesure que l'ébullition se poursuit, le point d'ébullition croît, car, à chaque variation de composition du mélange liquide, correspond une température telle que la tension du mélange des vapeurs émises égale la pression s'exerçant sur le liquide en ébullition. Le point d'ébullition croît parce que le liquide s'appauvrit constamment de la substance la plus volatile; le point d'ébullition final sera le point d'ébullition de la substance la moins volatile du mélange. Si l'on opère avec un mélange d'eau et d'alcool, l'ébullition commencera aux environs de 78° et se poursuivra à 100° dès que tout l'alcool aura passé à la distillation. Mais, ceci, à la condition que le corps à point d'ébullition le plus élevé soit en excès; sans quoi, comme les vapeurs émises sont formées d'un mélange des deux substances, on ne pourrait arriver à les séparer. Il est très difficile d'arriver à débarrasser complètement le corps le plus volatil du corps qui l'est moins, quoique cette séparation soit théoriquement possible.

Certains mélanges, cependant, ne suivent pas la loi qui vient d'être énoncée et tendent à se séparer à la distillation, d'une part, en l'un des composants, et, d'autre part, en un mélange des deux,

dont le point d'ébullition est constant. Un tel mélange peut être distillé sans modifications absolument comme un corps pur, la composition du distillat étant la même que celle du corps résiduaire. C'est notamment le cas avec les mélanges aqueux d'alcool propylique et d'acide formique. Si l'on se souvient que l'on admet, comme caractéristique des corps purs, la constance du point d'ébullition, on comprendra qu'on ait pu confondre parfois des mélanges analogues à ceux dont nous venons de parler, avec des corps purs. Des cas semblables à ceux que nous venons de voir se rencontrent très souvent en chimie; l'acide azotique n'a un point d'ébullition fixe qu'à 126° , et renferme alors 32% d'eau.

Théorie Cinétique des Gaz.—La théorie cinétique des gaz nous permet de déterminer quelle est la constitution mécanique des molécules; en d'autres termes, de déterminer si elles sont au repos ou en mouvement, et si, aux différents états de la matière, correspondent différents états mécaniques.

L'état gazeux se prête particulièrement bien à ce genre d'investigations, étant régi dans toutes ses propriétés générales par les lois très simples de Boyle-Mariotte, de Gay-Lussac, de Joule et d'Avogadro-Ampère, qui relient ensemble, étroitement, les propriétés générales de l'état gazeux, à savoir la pression, la température, le volume, l'énergie interne et le nombre de molécules, et mettent bien en évidence, par la généralité de leur application, l'identité de constitution mécanique des gaz, et la simplicité de propriété de la matière à l'état gazeux. D'après la théorie cinétique des gaz, les particules de la matière, à l'état gazeux, identiques aux molécules, sont indépendantes l'une de l'autre et le volume apparent n'est qu'en minime partie occupé par ces molécules; celles-ci ne sont pas au repos, mais animées de mouvements très rapides, et l'on a représenté la pression exercée par les gaz, sur les parois des vases qui les renferment, comme résultat d'actions atomiques ou moléculaires.

D'après la théorie cinétique, les myriades de molécules constituant les gaz seraient sans cesse en mouvement dans toutes les directions, se rencontrant l'une et l'autre à chaque instant, et rencontrant aussi les parois sur lesquelles elles exercent une force qui serait la pression. Les chocs des molécules contre les parois

supposées rigides et parfaitement élastiques, répétées des milliards de fois, constituent une sorte de bombardement moléculaire et, d'après la théorie cinétique, c'est le bombardement moléculaire qui serait la cause de la pression et la pression elle-même. La pression que supporte une paroi devra donc être proportionnelle à la vitesse des molécules, à leur masse, et au nombre de molécules frappant la paroi pendant l'unité de temps, c'est-à-dire au nombre de molécules contenues dans l'unité de volume. Toutes les lois simples de l'état gazeux peuvent se déduire de la théorie cinétique. En admettant que la théorie soit vraie, et que les propriétés physiques d'un gaz résultent des propriétés de ses particules constituantes, le raisonnement seul conduit à l'énoncé des lois simples de l'état gazeux. Soit, en effet, à température constante une masse donnée de gaz, renfermant un nombre donné aussi de molécules, dont l'action est connue; changeons le volume de cette masse, nous modifions par cela même le nombre des molécules renfermées dans l'unité de volume, et par conséquent aussi la pression; et nous voyons tout de suite, sans le moindre calcul, que si la pression dépend du nombre des molécules renfermées dans un espace donné, elle variera en raison inverse du volume occupé par la masse gazeuse.

De même, à volume constant, faisons varier la température; la force vive des molécules varie aussi; par conséquent la pression suivra des variations de même ordre.

Equation de Van der Waal.—Non seulement la théorie cinétique nous permet de vérifier les lois de l'état gazeux, telles que nous les connaissons, lois qui ne sont pas réellement vraies et que nous supposons applicables à des gaz idéals, dits parfaits; mais elle nous donne encore la raison de cette déviation ou de cet écart que révèle l'expérience. Jusqu'ici nous avons considéré les molécules gazeuses comme des unités physiques dénuées de toute matérialité, sans masse et sans volume; mais, en réalité, si ces particules existent, nous ne pouvons faire abstraction de leur masse, ni de leur volume, et il nous faut admettre que cette masse et ce volume, quoique très faibles sont de nature finie. Dans les conditions ordinaires, à la pression de la température ordinaire, le volume occupé par ces molécules gazeuses est évidemment in-

finiment petit, si on le rapporte au volume du gaz lui-même, et n'a pas d'influence sur les lois de l'état gazeux; mais dès que la pression croît, que le volume du gaz tend vers une limite infiniment petite, pour une masse donnée de gaz, le volume des particules cesse de devenir négligeable vis-à-vis du volume total dont elles forment une fraction notable, et les lois de l'état gazeux cessent d'être applicables avec rigueur; la pression croîtra plus rapidement que ne le voudrait la loi $p \cdot v = RT$.

Si nous représentons par b l'espace occupé par les molécules, la loi peut être corrigée en y introduisant ce nouveau facteur, et en remplaçant le volume théorique faux v par une expression nouvelle $(v-b)$, représentant l'espace réel compris entre les molécules; l'expression $p \cdot v = RT$ se trouve transformée en une expression plus exacte:

$$p(v-b) = RT.$$

Le terme b est une constante qui dépend du gaz considéré.

A côté du volume vrai des molécules gazeuses, il est aussi une autre condition dont on doit tenir compte; c'est l'attraction réciproque des molécules, attraction d'autant plus considérable que la matière étant plus comprimée, ces molécules sont plus voisines les unes des autres. Van der Waal admet que l'attraction est inversement proportionnelle au carré du volume. L'attraction moléculaire agirait donc comme un accroissement de pression, et la correction doit se faire en ajoutant cette action à la pression vraie. Si a représente le coefficient d'attraction, pour l'unité de volume de gaz, la correction additive pour un volume v quelconque

sera $\frac{a}{v^2}$; et l'expression $p(v-b) = RT$ de la loi de Boyle-Mariotte devient:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v-b) = RT.$$

Cette dernière expression s'adapte non seulement aux anciens gaz permanents, mais aussi aux gaz beaucoup plus compressibles, et l'accord entre les valeurs calculées et celles trouvées expérimentalement est toujours très satisfaisant.

EXERCISE 22.

DÉTERMINATION DES POIDS MOLÉCULAIRES.

au dixième de milligramme près = to within a tenth of a milli- gram	pastille = pill, tablet
une goutte = a drop	ampoule = glass bulb or vial
une marmite = a kettle	coiffer = to cap
encastrer = to fit in	cloche graduée = graduated gas burette
support à anneau = ring stand	refouler = to drive back
il vaut mieux = it is better	surélévation = rise
tube latéral = side tube	billes de verre = glass beads
manchon = mantle	abaissement = lowering
renflement = enlargement, bulb	amorcer = to prime, to start the reaction

Détermination par la loi D'Avogadro.—D'après la loi d'Avogadro: volumes égaux de gaz ou vapeurs raréfiées, mesurés à la même température et à la même pression, renferment le même nombre de molécules; et, d'autre part, le rapport des poids moléculaires est égal à celui des poids de ces volumes gazeux, ou, si l'on veut, au rapport de leurs densités gazeuses.

Quand on a affaire à des substances gazéifiables ou qui se présentent d'elles-mêmes à l'état gazeux, à la température ordinaire, la détermination du poids moléculaire est donc relativement très simple. Nous avons vu, au début, qu'une molécule doit occuper à l'état gazeux, à pression et à température normales, un volume de 22 litres ⁴. Le problème ainsi posé ne serait pas facile à résoudre, car il serait malaisé de peser un volume de 22 litres ⁴ de vapeur; mais en déterminant la densité de vapeur de la vapeur, le problème se trouvera résolu de lui-même par une multiplication très simple. On a, en effet: $M = Vd$. Tout revient donc à déterminer d puisqu'on connaît V a priori; on appelle densité d'un gaz ou d'une vapeur, par rapport à un autre gaz, le rapport existant entre le poids d'un certain volume de cette vapeur, au poids d'un égal volume du gaz type, ces volumes étant mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression.

Comme gaz type, on peut prendre un gaz quelconque; en général on fixe son choix sur l'air ou sur l'hydrogène.

Dans l'étude des densités de vapeur on considère: le poids de la vapeur, sa température, son volume, sa pression. Toutes ces données sont reliées entre elles par une formule.

Détermination de d: Méthode de Dumas.—On peut dire qu'elle est la méthode chimique par excellence; elle est, du reste, la seule donnant des densités de vapeur rigoureusement exactes. Elle revient, en principe, à peser un volume connu de vapeur; pour l'appliquer, on utilise des ballons de verre que le commerce livre tout préparés et dont la capacité peut varier de 50 à 400 centimètres cubes.

Le ballon soigneusement lavé et séché à l'intérieur, est alors porté sur une balance de précision, où on le pèse soigneusement, au dixième de milligramme près, en faisant la correction de la pression atmosphérique.

L'équation d'équilibre peut être établie comme suit, en appelant m la masse qu'on doit mettre sur le plateau portant le ballon:

(1) Masse du verre + air sec intérieur — poussée + m = T .
 T étant la tarre faisant équilibre. On note la température t , et la pression H du moment, ramenée à zéro.

Pour bien faire comprendre la marche des opérations, nous considérerons d'abord un liquide, et nous étendrons ensuite la méthode au cas d'un corps solide. Le cas d'un corps liquide est le plus simple; on en prend quelques centimètres cubes qu'on place dans un petit vase de Bohême, on chauffe doucement le ballon, en appliquant simplement la main contre sa paroi, et on en plonge l'extrémité dans le vase de Bohême renfermant le liquide dont on veut déterminer le poids moléculaire. Le ballon se refroidissant, il se fait à l'intérieur un vide relatif, et une petite quantité de la substance se trouve aspirée à son intérieur. On recommence l'opération si la quantité de substance introduite est jugée insuffisante: elle doit former au fond du ballon une goutte d'une largeur de 3 à 3 centimètres et demi. Cela fait, on prend le ballon et on le dispose dans une marmite spéciale après l'avoir encastré dans un support à anneau qui le maintient en équilibre. La marmite contient un liquide approprié à la température finale qu'il convient d'atteindre. Il faut que, pendant toute la durée de l'opération, la température aille constamment en montant¹ de façon à éviter toute entrée d'air.

¹ Il faut que la température aille en montant = the temperature must rise.

Soit, par exemple, à prendre la densité de vapeur de l'alcool, qui bout à 78° . On dispose le ballon dans lequel on a introduit de l'alcool, en suivant la méthode indiquée, dans la marmite renfermant de l'eau, et on chauffe progressivement; dès qu'on dépasse 78° l'alcool se met à bouillir; à partir de ce moment on modère le feu de façon à arriver vers 90° . A ce moment on note la température t_2 et la pression correspondante H_2 , qui se trouve être très sensiblement identique à H_1 , et on ferme à la lampe le col du ballon. On sort celui-ci, on l'essuie et on le lave avec un liquide convenable, on le laisse quelques minutes dans la cage de la balance, pour lui laisser le temps d'équilibrer sa température, et on le pèse à nouveau. On obtient ainsi une seconde équation d'équilibre:

$$(2) \text{ verre} + \text{vapeur de la substance} + \text{air resté} - \bullet + m' = T.$$

En appelant m' la nouvelle masse ajoutée à côté du ballon, et $\bullet$ la poussée. Nous pouvons égaler les deux équations d'équilibre 1 et 2 et, en retranchant les parties communes, on obtient:

$$(3) \quad \text{air sec intérieur} + m = \text{vapeur} + \text{air resté} + m'$$

Représentons par: p la vapeur, p' l'air sec intérieur, p'' l'air resté. L'équation (3) prend la forme (3')

$$(3') \quad p' + m = p + p'' + m'$$

Il s'agit maintenant de déterminer le volume intérieur du ballon. Pour cela, on le plonge dans de l'eau distillée et on en coupe le bout; dans ces conditions, étant donné le vide intérieur, l'eau rentre, et, théoriquement, si l'expérience a été bien faite, il ne doit pas rester d'air dans le ballon, et l'eau doit le remplir entièrement; en réalité il n'en est pas tout à fait ainsi, et il reste toujours, quelque bien faite qu'ait été l'expérience¹, un peu d'air. Quand cette masse d'air est faible, l'expérience est néanmoins considérée comme convenable. S'il y a trop d'air, l'expérience est défectueuse, et il vaut mieux la recommencer que d'essayer de tenir compte du volume occupé par l'air. Si, cependant, on veut tenir compte de cet air restant, on pourra opérer comme il va être dit:

¹quelque bien faite qu'ait été l'expérience = no matter how carefully the experiment may have been done.

Supposons le ballon plein d'eau, on le retourne avec soin, et on le retire, après l'avoir enfoncé de façon à établir l'égalité de niveau à l'intérieur et à l'extérieur; on le sèche bien, et on le pèse avec soin. Connaissant le poids de l'enveloppe, on a par différence le poids de l'eau, et par suite le volume occupé par la vapeur au moment de la fermeture du ballon. Ceci fait, on achève de le remplir en s'aidant d'un entonnoir effilé; on le pèse de nouveau, et on a ainsi le poids de l'eau occupant la place de l'air resté et le volume total du ballon, à la température de l'expérience:

$$\text{Poids de l'eau} = v_0 (1 + k\theta) d\theta$$

θ étant la température, et $d\theta$ la densité correspondante à cette température.

On connaît, en outre, le volume de l'air resté dans le ballon au moment de la fermeture de celui-ci: représentons par U ce volume à la température θ et à la pression $H\theta$.

Calcul de p' —Nous représentons par p' le poids de l'air sec remplissant le ballon au début de l'expérience; une formule connue nous donne immédiatement p' en fonction des données expérimentales:

$$p' = V_0 U \frac{H_1}{760} \cdot \frac{273}{T}.$$

Calcul de p'' —Nous avons représenté par p'' l'air resté dans le ballon. Cet air, nous l'avons connu sous deux conditions. Au moment de la fermeture du ballon où il occupait le volume V_0 ($1 + kt_2$) à une pression x inconnue, et à la température t_2 . Dans la seconde condition, il occupe le volume U , la température $\theta + 273$ en valeur absolue; la pression $H - f$. On en déduit, en appliquant l'expression combinée des lois de Mariotte et de Gay-Lussac:

$$(1) \quad V_0 \frac{(Hk_2)x}{T_2} = U \frac{(H_0 - f)}{\theta + 273}$$

d'où l'on tire le volume de p'' :

$$p'' = U_a \frac{(H_0 - f)}{760} \frac{273}{T} = V_0 (1 + kt_2)_a \frac{x}{760} \cdot \frac{272}{T_2}.$$

Quant à x on tire facilement sa valeur de l'équation (1).

Calcul de p —Nous avons représenté par p le poids de vapeur

contenue dans le ballon au moment de sa fermeture; le poids de cette valeur est donnée par l'expression :

$$p = V_0(1 + kt_2) \text{ a. d. } \frac{H - x}{760} \cdot \frac{273}{T_2}.$$

Méthode de Victor Meyer.—La méthode de Victor Meyer est très ingénieuse, et a eu un grand succès dans les laboratoires de chimie.

L'appareil se compose d'un petit cylindre en verre de sept à huit centimètres de haut et de 1 centimètre de diamètre; il se termine par un tube de plus faible diamètre et pouvant être fermé par un bouchon à sa partie supérieure. Il est, en outre, muni à deux ou trois centimètres de sa partie supérieure d'un tube latéral qui débouche sous une cuve à eau.

Pour prendre une densité, l'appareil doit être chauffé; pour cela on utilise en général, comme dans la méthode d'Hofmann, un manchon de diamètre un peu supérieur à celui du cylindre, et portant un renflement à sa partie inférieure. Dans la partie inférieure de ce manchon, on met un liquide à peu près pur, dont on entretient l'ébullition à l'aide d'un bec Bunsen; on obtient ainsi une température assez constante, ce qu'il est facile de vérifier à l'aide de l'appareil lui-même. Supposons, en effet, que l'appareil soit fermé et qu'on le chauffe, tant que la température va en croissant, l'air intérieur se dilatera et s'échappera à travers l'eau de la cuve; dès que la température devient constante ce dégagement gazeux cessera.

La substance dont on va prendre la densité de vapeur est mise, soit sous forme de pastilles, soit dans une ampoule en verre très mince; il en faut une très petite quantité, quelques décigrammes à peine, qu'on pèse avec grand soin. On chauffe alors le manchon dans lequel on a mis un liquide convenable, et qui varie suivant la température qu'on veut atteindre. Lorsque la température de l'appareil est devenue constante, on coiffe l'extrémité du tube abducteur d'une cloche graduée pleine d'eau; ceci fait, on ouvre le tube, on laisse rapidement tomber la substance dans l'appareil, et on referme aussitôt. Arrivée au fond, la substance fond d'abord si elle est solide, et se volatilise; mais la vapeur formée n'a pas le temps de se diffuser, elle reste dans le bas de l'appareil,

et la proportion de substance introduite doit être telle que cette vapeur occupe un tiers seulement du cylindre. On comprend facilement qu'en croissant, cette vapeur doit occuper un certain volume, et ce volume, elle doit le prendre à l'air qu'elle refoule, comme le ferait un piston. Le contrecoup de ce refoulement se traduit par le dégagement d'une certaine quantité d'air. Il est évident que l'air qu'on recueille sur la cuve à eau occupait dans l'appareil un volume identique à celui pris par la vapeur en naissant; et il suffit de peser cet air pour avoir le poids de l'air occupant le même volume que celui de la vapeur, dont on connaît le poids par pesée directe de la substance vaporisée. En pratique on ne pèse pas le gaz recueilli sur la cuve, on se contente de mesurer son volume sur la cuve à eau et on calcule le poids correspondant à ce volume. Soit v ce volume, t la température, h la pression; le poids p' de l'air est donné par l'expression:

$$p' = V_a \frac{Hf}{760} \cdot \frac{273}{T}.$$

Si p est le poids de la substance introduite dans l'appareil, on a facilement la densité d cherchée: $d = p/p'$

La méthode de Victor Meyer présente de très nombreux avantages. Elle dispense de la connaissance de la température à laquelle on opère; il suffit que cette température demeure constante pendant tout le cours de l'opération. Il est également inutile de connaître la pression. D'autre part, l'opération ne demande qu'une quantité extrêmement faible de substance, et les manipulations sont à peu près nulles, en tout cas sans aucune difficulté.

A côté de ces avantages existent quelques inconvénients. La vapeur, notamment, est toujours et nécessairement en contact avec un gaz, de l'air, si on opère sans précautions; mais rien n'est plus simple, si le besoin s'en fait sentir, d'opérer dans un autre gaz, dont il suffit de remplir l'appareil au préalable. On ne connaît pas la pression vraie de la vapeur; il est très probable que c'est celle de l'atmosphère, mais il n'y a aucune certitude à cet égard, il se peut qu'il y ait¹ diffusion de la vapeur. C'est là un inconvénient, car on a ainsi la densité à une pression inconnue, alors

¹ il se peut qu'il y ait = there may be.

qu'il peut être intéressant de connaître cette pression avec quelque certitude; d'autre part, pour les vapeurs susceptibles de se dissocier, la présence d'un gaz indifférent peut hâter cette dissociation. Enfin, l'appareil primitif étant en verre, ne peut être employé au-delà de la température de ramollissement de celui-ci, c'est-à-dire pas beaucoup plus loin que 600°. Pour les températures supérieures à 600°, on a préconisé des appareils dont la partie inférieure est en porcelaine. Avec ces ballons de porcelaine on peut opérer jusqu'à des températures de 1770°, mais il faut pour cela de très bonne porcelaine.

Détermination par L'Ébullioscopie.—La tension de vapeur d'une solution est inférieure à celle du dissolvant pur. Pour une même solution la diminution de tension de vapeur représente, quelle que soit la température¹, une fraction constante de la tension de vapeur f du dissolvant :

$f - f' = \frac{1}{x} \cdot f$. La diminution $f - f'$ est proportionnelle à la concentration de la solution.

Lorsque dans des quantités égales d'un même dissolvant on dissout, de différentes substances, des quantités proportionnelles à leurs poids moléculaires, on obtient des solutions qui ont la même tension de vapeur. Mais la mesure d'une tension de vapeur est une opération assez délicate. Aussi préfère-t-on généralement simplifier le mode opératoire, et partir de trois autres propositions corrélatives des précédentes :

Le point d'ébullition d'une solution est plus élevé que celui du dissolvant pur ;

La surélévation est proportionnelle à la concentration de la solution ;

Cette surélévation est égale pour des solutions équimoléculaires faites au moyen d'un même dissolvant.

La partie expérimentale de notre étude se trouve ainsi complètement transformée. Il ne s'agit plus de déterminer des tensions de vapeur, mais des points d'ébullition, ce que nous pouvons faire par des opérations relativement simples.

¹ quelle que soit la température = whatever the temperature may be.

Méthode Beckmann—L'appareil comprend un réservoir d'ébullition ayant la forme d'un tube à essai avec un tube latéral, auquel est attaché un condensateur ascendant; par l'autre ouverture pénètre le thermomètre Beckmann. Généralement un gros fil de platine est soudé au fond du réservoir d'ébullition.

Ce tube à ébullition est protégé par une enveloppe de verre, portant aussi un tube latéral muni d'un condensateur ascendant. Dans cette enveloppe on place une petite quantité de dissolvant et quelques morceaux de grenat. L'enveloppe repose sur une boîte en amiante.

Pour faire une expérience on place dans le tube à ébullition une couche assez épaisse de billes de verre, puis à l'aide d'une pipette on introduit une quantité pesée de dissolvant, et on allume le bec de Bunsen. La chaleur se communique au liquide par l'intermédiaire du fil de platine.. Lorsque l'ébullition a commencé, on règle la lampe de telle façon que le réfrigérant renvoie une goutte de liquide toutes les cinq ou dix secondes. On arrive ainsi lentement à établir une ébullition bien régulière, pendant laquelle la température marquée par le thermomètre n'oscille plus qu'entre d'étroites limites. On connaît alors le point d'ébullition du dissolvant pur.

On introduit ensuite par la tubulure latérale une quantité pesée de la substance à étudier, et au bout de quelques minutes, lorsque le thermomètre s'est fixé à une nouvelle position d'équilibre, on note encore une fois la température. On peut calculer le poids moléculaire en appliquant la formule suivante :

$$M = k \frac{w}{\Delta W},$$

w est le poids de la substance introduite, W le poids du dissolvant, Δ la différence de points d'ébullition, k est une constante qui varie d'un solvant à l'autre.

Le Point de Congélation (Cryoscopie).—Lorsqu'une solution étendue commence à se congeler, la matière solidifiée est presque toujours du dissolvant pur; et le phénomène continue à se passer de la sorte aussi longtemps que la partie encore liquide du dissolvant suffit à tenir en dissolution la substance ajoutée.

Le processus obéit à des lois semblables à celles qui servent de base aux méthodes ébullioscopiques :

Le point de congélation d'une solution est inférieur à celui du dissolvant pur ;

L'abaissement est proportionnel à la concentration de la solution ;

L'abaissement est le même pour des solutions équimoléculaires faites dans le même dissolvant.

Il y a donc entre le poids w d'un corps dissous dans W grammes de solvant, son poids moléculaire M et l'abaissement du point de congélation de la solution d° une relation qui permet, toutes ces quantités moins une étant connues, de déterminer la quantité inconnue, et qui est donnée par la formule : $M = k \frac{w}{d W}$, où k est une constante qui varie suivant le solvant considéré.

L'appareil dont on se sert est l'appareil de Beckmann. Il se compose de deux larges tubes à réaction, engagés l'un dans l'autre de manière à laisser entre les deux parois de verre une couche d'air, mauvaise conductrice de la chaleur. Il faut en outre un thermomètre Beckmann, gradué en centièmes de degré, et un agitateur en platine.

L'appareil se trouvant plongé dans un réfrigérant dont la température doit être inférieure de 2 à 5 degrés au point de congélation prévu, on introduit dans le tube intérieur une certaine quantité de liquide à étudier, et on met l'agitateur en mouvement. Le liquide se refroidit, mais reste encore en surfusion à quelques dixièmes de degré au-dessous de son point de congélation. En ce moment on provoque une congélation partielle, soit en accélérant les mouvements de l'agitateur, soit en amorçant la cristallisation. Aussitôt la solidification commence et le dégagement de chaleur latente suffit pour faire monter le thermomètre jusqu'au point de congélation exact.

On fait cette opération une première fois avec le dissolvant choisi. Après quoi on passe à l'étude d'une série de solutions de concentration variée, de manière à constater des dépressions allant de 0, 2 ou 0, 5 à 4 degrés.

EXERCISE 23.

PHÉNOMÈNES ÉLECTROLYTIQUES.

cellule = cell	pont de Wheatstone = Wheatstone bridge
l'amenée = inlet	se taire = to become silent
la sortie = outlet	le curseur = runner
lame = plate	plonger = to dip
force contre-électromotrice = reverse electromotive force	un bâton de zinc = a stick of zinc
chute de potentiel = drop of potential	s'appauvrir = to become poor
décélérer = to detect	s'enrichir = to become rich
indice = factor	piles étalons = normal cells
	bouillie = paste

On donne le nom d'électrolyse aux phénomènes de décomposition qui accompagnent toujours le passage du courant à travers certains composés chimiques dits électrolytes, et qui doivent, pour être conducteurs de l'électricité, se présenter sous un état suffisant de fluidité.

L'appareil dans lequel se passe le phénomène de l'électrolyse et qui renferme l'électrolyte, prend le nom de voltamètre, de cuve ou d'appareil électrolytique, de cellule; et dans des circonstances toutes particulières, notamment quand on opère sur des substances fondues et à haute température, de four électrique; les conducteurs qui servent à l'amenée et la sortie du courant sont les électrodes. On désigne l'électrode par où entre le courant sous le nom d'électrode positive ou anode, et celle où il sort, sous le nom d'électrode négative ou cathode.

Ces électrodes sont généralement constituées soit par un métal inattaquable par les produits de l'électrolyse, et bon conducteur de l'électricité; soit en charbon particulier et bon conducteur; elles se présentent sous les formes les plus diverses; fils, barres, lames.

Il est généralement nécessaire de pouvoir déterminer leur surface, avec exactitude, afin de pouvoir rapporter les réactions électrolytiques à la densité du courant, c'est-à-dire à l'intensité en ampères, par décimètres ou centimètres carrés.

On donne le nom de système électrique à tout circuit isolé, traversé par un courant électrique; et de système électrolytique à toute partie du courant renfermant un électrolyte, c'est-à-dire un

composé chimique capable, en entrant en réaction, d'engendrer une force électromotrice, ou une force contre-électromotrice, c'est-à-dire qui correspond à une chute de potentiel.

Quand on soumet à l'électrolyse un électrolyte, les composants de celui-ci apparaissent aux électrodes. L'expérience a montré qu'ils n'apparaissent pas dans un ordre quelconque, mais suivant une loi invariable.

Soumettons à l'électrolyse une solution d'acide sulfurique dans de l'eau (quand on parle d'une solution sans spécifier le solvant, il s'agit toujours d'une solution aqueuse); les électrodes étant en platine ou en toute autre substance difficilement attaquable; on observe un dégagement d'oxygène autour d'une électrode, et un dégagement d'hydrogène autour de l'autre. Nous avons vu aussi que l'électrode sur laquelle apparaît l'oxygène, a reçu le nom d'électrode positive ou d'anode, et correspond au conducteur directement relié au pôle positif de la source d'électricité; celle autour de laquelle se dégage l'hydrogène a reçu le nom d'électrode négative, ou cathode et elle est en relation directe avec le pôle négatif de la source génératrice.

L'expérience montre que toujours, quand on électrolyse un acide, l'hydrogène se porte autour de la cathode; le résidu de la molécule se porte au contraire à l'anode, se dégage s'il le peut, ou réagit sur le solvant. Chez les sels, c'est le radical métallique qui tient la place de l'hydrogène acide, qui toujours se porte à la cathode, le radical acide allant à l'anode. Dans le cas des bases, le radical métallique va à la cathode, et l'oxhydrile va à l'anode. On peut dire d'une façon presque générale, que les éléments qu'on appelait électro-négatifs dans l'ancienne théorie de Berzelius, tels que les métalloïdes ou groupes métalloïdes Cl, Br, I, SO₄, NO₃, ClO, OH, se portent vers le pôle positif, c'est-à-dire à l'anode, tandis que les éléments électropositifs tels que l'hydrogène et les métaux, se dégagent à la cathode, soit au pôle négatif.

On a donné à ces constituants chimiques qui se dégagent aux électrodes le nom d'ions; les uns étant des anions, et les autres des cations, suivant qu'ils se dégagent à l'une ou l'autre électrode.

Loi de Faraday.—Lorsqu'un électrolyte est traversé par une quantité d'électricité égale à 96512 coulombs, la quantité des

matières déposées est représentée, en valeur absolue, par leur poids moléculaire exprimé en grammes, avec cette condition, que l'élément électro-négatif entre dans la formule chimique avec un seul équivalent.

On voit, d'après cette loi, que tout le travail de l'électrolyse dépend de la masse électrique que représente le courant; peu importe que celui-ci soit faible¹ ou fort; peu importe le temps nécessaire pour opérer la décomposition; peu importe le degré de concentration de l'électrolyte; le résultat est toujours le même, et une quantité donnée d'électricité libère toujours une même masse d'équivalents chimiques.

On donne le nom d'équivalent électrochimique à la quantité de tout corps jouant le rôle d'élément électronégatif libéré par un coulomb.

Théorie de Swante Arrhénius.—D'après Arrhénius, dès qu'une substance est dissoute dans l'eau, si elle est capable de conduire le courant, elle se dissocie en ses composants, radical électro-positif et radical électro-négatif. D'après lui, la conductibilité des électrolytes est en rapport direct avec la proportion des molécules dissociées, de sorte que nous avons ici un nouveau moyen de contrôle. C'est cette ingénieuse conception à laquelle on donne le nom d'hypothèse des ions. L'ion prend ici sa signification définitive. Lorsque le courant traverse un électrolyte, c'est parce qu'il renferme des ions, que le courant transporte seulement. Et, suivant cette idée, les substances qui, dissoutes, donnent des solutions conduisant bien le courant électrique, doivent ceci à ce qu'elles sont presque totalement dissociées et, au contraire, celles qui ne conduisent le courant qu'avec difficulté ne sont que très légèrement dissociées. Quant aux molécules entières, elles ne jouent aucun rôle dans le transport du courant.

Les ions sont des fractions de molécules et, de plus, ils existent en solution avec des affinités libres et sont chargés d'électricité. Les ions, chargés d'électricité, arrivent aux électrodes, perdent leurs charges; les affinités libres se saturent mutuellement, et les ions reprennent l'état moléculaire; ils apparaissent tels que nous

¹ peu importe que celui-ci soit faible = no matter whether the latter is weak . . .

les connaissons, sous une forme polymérisée, qui ne laisse en rien préjuger de ce qu'ils peuvent être¹ à l'état libre.

On a prétendu que, puisque, dans une solution il est impossible de déceler aucune trace d'électricité, il était invraisemblable que les ions y fussent pourvus de charges électriques. A ceci, Arrhenius et son école répondent que, si dans un électrolyte qui n'est traversé par aucun courant, on ne peut déceler aucune charge libre, malgré la charge de ses ions, c'est parce que la somme de toutes les charges, positives et négatives de ses différents ions, est égale à zéro. D'autre part, Van't Hoff et Rudolph ont montré que lorsqu'un sel se dissout dans de l'eau, l'effet thermique observé est la somme de deux quantités de chaleur, l'une relative à la dissolution du sel non décomposé, l'autre relative à la dissociation du sel.

Coefficient de Dissociation.—Le coefficient de dissociation, c'est-à-dire le nombre d'ions, croît avec la dilution; on en trouve une preuve manifeste dans les mesures de Kohlrausch, qui a montré expérimentalement que la conductibilité moléculaire d'un sel dissous, augmente avec la dilution de la solution considérée, jusqu'à un maximum qui, une fois atteint, ne peut être dépassé quel que soit l'accroissement de la dilution; et on constate même, qu'avant d'arriver à ce maximum, l'accroissement de conductibilité très grand au début, pour une faible augmentation de dilution, devient de moins en moins sensible, à mesure qu'on accroit la dilution, et atteint finalement un maximum.

On donne le nom de conductivité moléculaire à la conductivité d'une solution située entre deux lames conductrices parallèles, placées à un centimètre l'une de l'autre, et telles que le volume du liquide compris entre deux électrodes, renferme exactement une molécule de l'électrolyte. On représente le nombre ainsi obtenu par la lettre μ_v , l'indice v se rapportant au volume du liquide renfermant une molécule-gramme. Cette conductivité moléculaire est indépendante du volume, et ne dépend que du nombre d'ions, c'est-à-dire du coefficient de dissociation à la dilution considérée.

¹qui ne laisse en rien préjuger de ce qu'ils peuvent être . . . = which gives no conception as to what they may be . . .

On représente la valeur limite que prend la conductivité moléculaire pour une dilution infinie, par le symbole μ_{∞} .

Loi D'Ostwald.—Les faits qui précèdent permettent le calcul du coefficient de dissociation δ d'un électrolyte; en effet, du moment que¹ la conductivité moléculaire μ_v est proportionnelle au nombre d'ions contenus dans le volume moléculaire v , il en sera de même à dilution infinie, où toute la substance est sous forme d'ions.

$$\text{D' où } \delta = \frac{\mu_v}{\mu_{\infty}}.$$

Ces faits forment l'expression pratique de la loi d'Ostwald qui peut être mise sous la forme suivante: le degré de dissociation d'une solution est égal au rapport de la conductivité moléculaire de cette solution, à la conductivité moléculaire qu'aurait cette solution si on la diluait suffisamment pour dissocier toutes les molécules.

La loi de Guldberg et Waage sur l'influence des masses actives peut être appliquée à un électrolyte de la même façon qu'à un gaz ou à une vapeur dissociée. Elle peut être mise sous cette

forme : $\frac{m_1 m_2}{m} = \text{constante}$. C'est-à-dire que le rapport du produit

des masses dissociées à la masse non dissociée est égal à une constante pour une température donnée.

Méthode de Détermination de la Conductivité Moléculaire.—La détermination de la conductivité moléculaire d'un électrolyte se ramène à la mesure de la résistance r ; la conductivité est l'inverse de ce nombre. Pour obtenir la conductivité moléculaire, on détermine la résistance d'un cube ayant un centimètre de côté, et on multiplie ce nombre par le nombre de centimètres cubes de la solution renfermant une molécule-gramme de l'électrolyte.

La mesure de la résistance se fait généralement à l'aide du dispositif connu, dit du pont de Wheatstone, mais qu'il est nécessaire de modifier. Il est d'abord impossible de se servir d'un courant continu, par suite des phénomènes dits de polarisation. On prend un courant alternatif de haute fréquence, tel que celui que donne une petite bobine de Rumkorff, actionnée par une petite pile au

¹ du moment que = since.

bichromate ou un accumulateur. Il est bien évident que, dans ces conditions, il ne peut être question de se servir d'un galvanomètre; on a trouvé à le remplacer avantageusement par un téléphone. Ce téléphone se tait quand le circuit sur lequel il se trouve n'est parcouru par aucun courant.

Le système peut être disposé comme il suit: en S on place la cuve électrolytique (généralement une cellule Arrhénius), en B est la bobine et sa pile, et en T se trouve le téléphone qui occupe une place identique à celle prise par le galvanomètre dans le dispositif ordinaire.

Les électrodes qui plongent dans le liquide électrolyte sont faits de disques de platine ayant presque le même diamètre que celui du vase cylindrique; ils sont fixés à un centimètre l'un de l'autre. Ces deux disques sont en communication, à l'aide de conducteurs isolés, avec les deux pôles du générateur, et sont fixés dans un couvercle en ébonite. Ces disques ne doivent pas être polis, sans quoi l'extinction du téléphone ne se fait pas convenablement. Il est donc nécessaire de recouvrir les lames de platine d'une couche de platine finement divisé. On arrive à ce résultat, en opérant la platinisation des électrodes, en les prenant alternativement comme cathode dans une solution de chlorure platinique.

On cherche le maximum de silence du téléphone en faisant mouvoir le curseur d sur le fil adb ; ce fil est un fil de platine de diamètre uniforme, fixé sur une règle en bois de un mètre divisée en millimètres.

Il est bon de faire plusieurs déterminations à concentrations diminuant. D'autre part, il est nécessaire d'opérer à température bien constante; pour cela, on peut immerger le vase renfermant les électrodes dans un thermostat à 15° ou 18° , dont la température est réglée au moyen d'un régulateur de pression de gaz, ou d'une résistance métallique traversée par un courant, ou d'autres régulateurs de chaleur.

Pour se servir de l'appareil, il est nécessaire de déterminer une fois pour toutes la capacité du vase électrolytique. A cet effet, on y introduit une solution de conductivité spécifique connue, et mettant le téléphone à l'oreille, on cherche le maximum de silence. Quand on y est, on sait que l'on a: $R/ad = S/db$; d'où l'on

déduit la résistance cherchée: $S = Rdb/ad$; d'où la conductivité $C = ad/Rdb$. Comme l'on connaît la conductivité de la solution utilisée, soit C_1 , on en tire: $C_1 = k. ad/Rdb$. Le nombre k est une constante du vase à résistance; et c'est par cette constante que doivent être multipliées les indications directes données par l'appareil.

Force Contre Electromotrice de Polarisation.—Loi de Nernst.—La loi d'Ohm peut être traduite par une expression de la forme connue $E = ir$. On donne à la quantité E le nom force électromotrice; c'est là un fait connu. Mais, appliquée aux conducteurs électrolytes, la loi d'Ohm doit être traduite par une expression de la forme: $E = e + ir$, dans laquelle e représente quelque chose de nouveau, et auquel on a donné le nom de force contre-électromotrice de polarisation; comme il est facile de le voir, elle a un effet contraire à celui de la force électromotrice, et elle tend à s'opposer au passage du courant. Elle représente la tension nécessaire pour transformer les ions en molécules, et les molécules de l'anode en ions, quand cette anode est soluble. Cette tension a son siège aux anodes, et est complètement indépendante des données variables du système électrolytique considéré.

Piles Electriques.—Une pile est un appareil à électrolyse, dans lequel la force contre-électromotrice, au lieu de s'opposer au courant, tend au contraire à l'entretenir, et prend le nom de force électromotrice de la pile. Cette force électromotrice dépend des phénomènes qui se passent dans l'électrolyse; elle est liée à une dissymétrie soit dans le liquide, soit dans les électrodes; pour que la pile fonctionne bien, il faut que cette dissymétrie soit durable.

Une pile comprend un vase électrolytique, deux électrodes, et au moins un électrolyte; on donne le nom de pôle positif à l'électrode qui est au potentiel le plus élevé; l'autre est le pôle négatif. Il y a plusieurs types de piles: 1° piles à un seul liquide, 2° piles non reversibles à deux liquides, 3° piles à dépolarisant solide, 4° piles reversibles.

Le premier groupe comprend une électrode soluble, généralement en zinc, et une électrode insoluble, généralement en cuivre, baignant dans une solution acide; en réunissant le zinc au cuivre, on obtient un courant qui va du cuivre au zinc extérieurement.

La force électromotrice de ces piles tombe rapidement. On dit que la pile se polarise. On augmente beaucoup la puissance de la pile et sa durée en utilisant un liquide dit dépolarisant, liquide supprimant la cause de la polarisation, c'est-à-dire l'hydrogène. On prend une solution acide de bichromate de potasse, et comme le cuivre est attaqué dans ces conditions, on le remplace par du charbon.

Dans le deuxième groupe, le liquide, dans lequel baignent les électrodes est séparé en deux par une cloison en terre poreuse, et chacune des électrodes baigne dans un compartiment isolé; le dépolarisant oxydant se met dans le compartiment cathodique; le zinc baigne généralement dans une solution d'acide sulfurique, et le charbon dans de l'acide azotique fumant dans le vase central.

Dans le troisième groupe le pôle positif est entouré d'un dépolarisant solide qui est, soit du dioxyde de manganèse ou de l'oxyde de cuivre. Dans l'élément Leclanché, le pôle positif est une lame de charbon placé dans un vase poreux, et entouré de bioxyde de manganèse mélangé de charbon en grains. Cet ensemble plonge dans une solution de chlorhydrate d'ammoniaque. Le pôle négatif est un bâton de zinc qui plonge également dans cette solution.

La pile dite de Daniell est une pile reversible. Elle se compose de solutions de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc, séparés par une cloison poreuse. Dans la première solution plonge une lame de cuivre (pôle positif), et dans la seconde une lame de zinc (pôle négatif). Le courant va, extérieurement, du cuivre au zinc. Le cuivre métallique se dépose sur la lame de cuivre, tandis que le zinc se dissout; la solution de sulfate de cuivre s'appauvrit, celle du sulfate de zinc s'enrichit.

Piles Étalons.—Pour l'obtention précise d'une force électromotrice connue, on se sert d'éléments dénommés normaux, parmi lesquels l'élément au cadmium est le plus convenable. Il se compose d'un récipient en verre et en forme de H, dont les deux montants sont munis de fils conducteurs de platine; d'un côté il y a du mercure pur et sec, et de l'autre de l'amalgame de cadmium. On prépare ensuite une bouillie de sulfate de cadmium qu'on verse sur l'amalgame de cadmium, et aussi une bouillie de sulfate de mer-

cure et sulfate de cadmium qu'on verse sur le mercure. Les deux montants et le tube de liaison sont ensuite remplis de cristaux de sulfate de cadmium et de solution de sulfate de cadmium saturée. Les deux montants sont ensuite enduits de paraffine, mais dans l'un d'eux on laisse une petite bulle d'air. Sur la paraffine on met un petit rond de liège et enfin une fermeture de gomme laque.

La force électromotrice de l'élément au cadmium est de 1,0186 volts à 20°.

EXERCISE 24.

APPAREILS DE LA CHIMIE INDUSTRIELLE.

gaz d'éclairage = illuminating gas
cornue = retort
terre réfractaire = fire clay
four = oven
grille = grate
canal = flue
claire = perforated wooden tray
trou d'écoulement = outlet
trou de coulée = discharge opening
orifice de chargement = opening for charging
tige filetée = threaded rod
engrenage = gear
volant = fly-wheel, guiding-wheel
écran = screen
rectificateur = rectifier
vue en élévation = front view
chaudière = kettle
serpentin chauffeur = heating coil
diaphragme = perforated plate
condenseur analyseur tubulaire = analyzer, dephlegmator
régulateur de chauffage = heat regulator
trop-plein = overflow, catch-all
reniflard = air valve
trou d'homme = manhole

niveau d'eau = water level
robinet de purge = blow valve
robinet de vidange = discharge valve
éprouvette = liquor gauge
boulon fileté = threaded bolt
écrou = nut of a bolt
roue dentée = cog wheel
rigole = little ditch, water seal
tourteau = cake
eau de lavage = wash water
trémie = hopper
chaudière à cuire dans le vide = vacuum pan
lunette = sight glass, peep hole
mousse = froth
cuiseur = man attending the vacuum pan
soupape = strike or discharge valve
levier = lever
turbine = centrifugal machine
tambour = drum
axe = axis, axle-tree
cône de frottement = friction cone
courroie = belt
frein = brake

Appareils Pour la Fabrication et la Purification du gaz D'éclairage.—La distillation de la houille en vue de la préparation du gaz

d'éclairage est effectuée dans des cornues qui autrefois étaient en fonte, mais qui maintenant sont en terre réfractaire. Ces cornues sont disposées horizontalement au nombre de 5 à 7 et même plus dans des fours; ceux-ci sont chauffés avec le résidu de la distillation (le coke), qui autrefois était généralement brûlé sur des grilles ordinaires; mais depuis 30 ans environ, le chauffage du four a subi de notables perfectionnements qui ont eu pour conséquence de réduire de moitié la consommation du combustible.

Dans le dispositif de Hasse et Vacherot, le combustible est chargé sur la grille A par l'ouverture B, munie d'une porte C fermant hermétiquement. La scorie et la cendre sont enlevées par la porte E, fermant aussi hermétiquement. Si les deux portes sont fermées, l'air nécessaire pour la combustion, dont l'entrée est réglée par le registre F, pénètre dans le four en G à droite et à gauche, il traverse les canaux H dans la direction des flèches et arrive sur la grille par J à droite et à gauche. Les gaz de la combustion, après avoir parcouru le four dans toutes ses parties, se dirigent d'avant en arrière dans le canal de fumée K, puis en bas dans L, ensuite d'arrière en avant dans M et enfin d'avant en arrière dans N, pour s'échapper dans la cheminée. Chemin faisant, les gaz de la fumée abandonnent une grande partie de leur chaleur aussi bien à l'air de la combustion traversant les canaux H qu'à l'eau contenue dans la caisse O, qui se trouve au-dessous de la grille. Comme le combustible forme toujours sur la grille une couche épaisse, la combustion est incomplète; il doit par suite se former une quantité notable d'oxyde de carbone, pour la combustion duquel de l'air est introduit par P, du côté postérieur du four, en en réglant l'afflux au moyen du registre Q; cet air traverse suivant la direction des flèches les canaux R et il arrive par S à la rencontre des gaz dégagés par le combustible. L'échauffement des canaux R a lieu par le rayonnement de la maçonnerie qui les entoure.

Le gaz brut qui se dégage des cornues monte par un long tuyau en fer A et pénètre par le tube couché BC dans le récipient ou barillet D, qui est généralement placé sur la partie antérieure du four et dans lequel viennent aboutir tous les tubes partant des cornues. Dans le barillet se condense une partie du goudron et

de l'eau ammoniacale, et afin que le liquide ne s'élève pas trop haut, ce récipient est muni d'un tube d'écoulement disposé de façon que le niveau du goudron et de l'eau ammoniacale demeure toujours au-dessus de l'orifice du tube amenant les gaz, de manière que celui-ci ne puisse pas retourner dans la cornue.

Du barillet le gaz se rend dans le condenseur ou réfrigérant. Celui-ci se compose d'une série de tubes verticaux qui, supérieurement, communiquent ensemble au moyen de tubes arqués et qui, inférieurement, reposent sur une caisse quadrangulaire P. Cette dernière est, suivant sa longueur et sa largeur, divisée en compartiments au moyen de cloisons. Chaque compartiment est muni d'un tube abducteur *m* et d'un tube abducteur *n*. Les cloisons *r* ne descendent pas jusqu'au fond de la caisse P; le liquide qui produit la fermeture hydraulique des divers compartiments peut par conséquent se mouvoir librement dans tous les compartiments de la caisse. Dans celle-ci, se rassemblent de l'eau ammoniacale et du goudron. Le niveau du liquide est réglé au moyen du tube d'écoulement *d* ou par un siphon.

Pour séparer les dernières traces de goudron et la majeure partie de l'ammoniaque, on fait passer le gaz à travers un laveur, dit scrubber. Le laveur recommandé par Chevallet sous le nom de scrubber rationnel est formé de tronçons en fonte superposés, chaque tronçon étant séparé par des cuvettes en poterie percées d'un grand nombre de trous et surmontées de cheminées de même hauteur; tous les tronçons sont réunis au moyen de mastic de vitrier.

Le gaz arrive finalement dans l'épurateur, où il se dépouille de l'acide carbonique, de hydrogène sulfuré, du sulfure de carbone, du cyanure d'ammonium, etc.

Les appareils d'épuration par l'oxyde de fer consistent généralement en caisses rectangulaires en fonte fermées par un couvercle mobile en tôle, dont les rebords plongent dans une rigole ménagée à l'extérieur de la caisse et remplie d'eau. A l'intérieur de la caisse sont disposées de 3 à 6 claies, sur lesquelles on étend les matières épurantes. Le gaz arrive à la partie inférieure par un large tuyau, traverse les claies, puis pénètre entre la claie supérieure et le couvercle pour descendre ensuite par un

canal en tôle établi à l'un des angles de la caisse et communiquant inférieurement avec un tuyau par lequel le gaz s'échappe.

Le gaz épuré est recueilli dans de grands gazomètres, d'où il est envoyé aux différents lieux de consommation à l'aide de tuyaux en fonte goudronnés.

Four à Carbure de Hérault.—Le four A consiste en un creuset de graphite *a*, muni extérieurement d'un revêtement en fonte; il a la forme d'un parallépipède de 1,80m. $\times$ 1,5m. $\times$ 1,5m. Il est percé d'une cavité *d*, communiquant à sa partie supérieure avec un orifice de chargement E, et à sa partie inférieure avec un trou de coulée B, pour l'évacuation du produit fondu de la réaction; ce dernier est recueilli dans le bassin *c* placé au-dessous de B. La masse du four forme l'électrode négative, qui est isolée du sol par des roulettes. Les conducteurs négatifs I sont fixés par des boulons sur la paroi d'arrière du four A. L'électrode positive est formée par une tige de charbon D de 20 cm. de côté, serrée par quatre griffes M d'une mâchoire K dont les deux plaques servent de point d'attache aux six cables du conducteur positif N. La mâchoire K est fixée à une tige filetée P, qui permet de la soulever ou de l'abaisser, par l'intermédiaire d'un système d'engrenage SR, manœuvré au moyen de la tige V et du volant Z.

Pour préparer le carbure de calcium, un ouvrier commence par remplir le creuset, par l'ouverture E, avec un mélange de chaux pulvérisée et de coke concassé. L'ouvrier chargé de la surveillance du four demeure continuellement près du volant Z; il est protégé contre la chaleur rayonnée du four par l'écran en mica H; il a sous les yeux un ampèremètre et un voltmètre placés dans le circuit électrique du four et fixés sur le poteau *y*. Dès que le creuset est rempli, il abaisse progressivement l'électrode en charbon D, en tournant le volant Z, de manière à échauffer la masse et à former ensuite un arc lumineux entre le charbon D et le contenu du creuset. On voit le charbon devenir rouge sur presque toute sa longueur, tandis qu'une grande flamme s'échappe par l'orifice de chargement E. L'ouvrier règle la position de l'électrode d'après les indications de l'ampèremètre et surtout du voltmètre. Il juge de l'état de réaction par la grandeur et la couleur de la flamme. Lorsque la réaction touche à sa fin, un ouvrier

débouche le trou de coulée, pendant qu'un autre recharge le creuset par l'orifice E. Le carbure fondu s'échappe en un jet incandescent et tombe dans le bassin C où il se refroidit pendant la coulée. L'électrode reste plongée dans le creuset et, par conséquent, le courant n'est pas interrompu. La marche du four est donc continue, mais on procède par charges et coulées successives. On fait une coulée toutes les 40 minutes environ.

Rectificateur Pour la Purification de L'Alcool Brut.—La figure représente la vue en élévation d'un rectificateur Savalle, dont voici la légende explicative :

A, chaudière en cuivre ou en tôle, munie intérieurement d'un serpentín chauffeur et destinée à recevoir l'alcool à rectifier ; B, colonne à diaphragmes où s'effectuent des distillations multiples ; C, condenseur analyseur tubulaire, dont la fonction est de retourner à l'état liquide, vers la colonne B, les deux tiers des vapeurs alcooliques, et de laisser passer l'autre tiers (dont le degré est élevé) au réfrigérant ; D, réfrigérant qui liquéfie et refroidit l'alcool rectifié ; E, régulateur automatique de chauffage ; F, éprouvette pour l'écoulement de l'alcool rectifié, indiquant le volume écoulé par heure ; G, dôme de vapeur pour servir, à la fin des opérations, à la séparation et à l'élimination des huiles essentielles lourdes ; H, réservoir à eau froide alimentant par le tube *k* le réfrigérant et le condenseur et muni du trop-plein *o* ; I, réservoir à alcool brut, où sont renvoyés aussi les alcools secondaires ; *g*, tuyau conduisant les vapeurs alcooliques de la colonne au condenseur ; *h*, tube de retour pour les alcools faibles ; *j*, tube pour communiquer la pression au régulateur ; *l*, conduite des vapeurs de chauffage ; *m*, trop-plein des eaux chaudes ; *n*, tuyau pour charger d'alcool brut la chaudière A ; 1, robinet du régulateur à vapeur ; 2, sortie des eaux de condensation de la vapeur de chauffage ; 3, robinet double servant à vider et à emplir la chaudière A ; 4, robinet régulateur pour l'eau de condensation ; 5, robinet d'écoulement des alcools secondaires ; 6, robinet d'écoulement des éthers ; 7, robinet d'écoulement des alcools bon-goût ; 8, reniflard pour empêcher l'écrasement de l'appareil ; 9, trou d'homme pour visiter le serpentín de chauffage de la chaudière ; 10, 10', 10' ', niveaux d'eau indiquant le volume de liquide contenu dans la chaudière ;

11, thermomètres indiquant les différentes phases de l'opération et le moment où il faut terminer en soutirant les huiles lourdes.

L'opération de la rectification est conduite de la manière suivante; on commence par saturer exactement les acides contenus dans l'alcool brut; à cet effet, on y ajoute de la chaux vive, de la potasse perlasse et du blanc d'Espagne bien lavé, dans des proportions qui varient nécessairement avec le degré d'acidité de l'alcool; 50 gr. de chaux par hectolitre sont en général suffisants pour les alcools de betteraves. L'alcool étant saturé et ramené avec de l'eau à 40 ou 50 degrés, dans le cas où il marque plus de 50 degrés, on le charge dans la chaudière A, puis on fait arriver la vapeur, après avoir ouvert le robinet de purge No. 2; quand le contenu de la chaudière est en ébullition, on ferme à moitié le robinet de vapeur, puis on ouvre complètement le robinet d'eau de condensation No. 4. Les vapeurs alcooliques sont alors condensées en C et retournent à l'état liquide par le tuyau *h*, pour garnir successivement tous les plateaux de la colonne B. Dès que tous les plateaux sont garnis d'alcool, le régulateur de vapeur commence à fonctionner, on diminue alors l'arrivée de l'eau froide dans le condenseur C, de façon à ne plus condenser que les deux tiers de la vapeur arrivant en C, l'autre tiers se rend dans le réfrigérant D et de là dans l'éprouvette E. Les premiers produits marquent 94 degrés, ils sont très éthérifiques, d'une odeur âcre, forte, et généralement d'une couleur verte; on les fait écouler par le robinet No. 6 dans le réservoir aux produits de mauvais goût tant qu'ils sont imprégnés de cette odeur piquante; on obtient ainsi 3 p. 100 de l'alcool soumis à la rectification. L'alcool s'épure ensuite graduellement, il est d'une qualité supérieure au premier; on le désigne sous le nom de moyen-goût, et on le réunit, en ouvrant le robinet No. 5 aux alcools bruts de l'opération du lendemain; après commence, par le fractionnement, le trois-six bon-goût, qui se reconnaît à sa neutralité, sa douceur et sa limpidité; il continue jusqu'à la fin de l'opération. Quand le thermomètre posé sur le dôme G marque 99° à 100°, on déguste le produit dans l'éprouvette E, et on le fractionne en le renvoyant au réservoir à alcool moyen-goût, aussitôt que l'on observe que sa qualité diminue. Puis, aussitôt que le thermomètre monte à 101°,

on fait cesser la production de l'alcool à l'éprouvette F, en ouvrant complètement le robinet d'eau de condensation No. 4. Cette condensation a pour effet de maintenir l'alcool à fort degré dans le condensateur C et dans la partie supérieure de la colonne, pour empêcher ces parties de s'imprégner d'huiles essentielles. Enfin, quand le thermomètre est à 102° , le liquide contenu dans la chaudière est épuisé d'alcool. On ouvre alors le robinet de vidange de la chaudière No. 3, puis le robinet No. 12 à trois ouvertures, afin de mettre en communication la colonne et le réservoir aux huiles. Enfin, on ferme immédiatement après le robinet de vapeur de chauffage; comme la pression n'est pas maintenue dans la colonne B, les plateaux se vident successivement de haut en bas sur le plateau inférieur, qui communique par le robinet No. 12 avec le réservoir à mauvais-goût; à cette période de l'opération, les plateaux de la colonne ne contiennent plus que les huiles essentielles et de l'alcool mauvais-goût, que l'on réunit aux produits étherés du début de la rectification. En admettant, comme on l'a dit plus haut, que la chaudière soit chargée de produit à 50° , l'opération commence lorsque le thermomètre marque 85° , et elle est terminée dès que la température s'élève à 102° , c'est-à-dire lorsqu'il ne reste plus d'alcool dans l'eau contenue dans la chaudière.

Filtre-Pressé.—Un filtre-pressé se compose d'un certain nombre de boîtes carrées formées d'un cadre en fonte de 4 à 5 cm. d'épaisseur, et de deux parois en tôle percées de petits trous et présentant du côté de leur face extérieure une légère concavité, qui lors du rapprochement des boîtes produit un espace vide entouré de toutes parts par les bandes massives des cadres de fonte; ces parois sont en outre munies d'une large ouverture centrale dans laquelle est engagé un petit cylindre creux, reliant les deux parois, de façon que le liquide qui doit pénétrer dans les boîtes ne puisse y arriver que par les petits trous. Les boîtes sont recouvertes de chaque côté par une toile posée à cheval sur le bord supérieur du cadre et percée au niveau des ouvertures centrales; elles sont disposées verticalement entre deux plaques de fonte *e* et *f* offrant, du côté des boîtes, une capacité fermée par une lame de tôle également munie de petits trous et d'un orifice central. Cette lame est aussi

recouverte d'une toile trouée en son milieu et assujettie sur le bord supérieur de la plaque au moyen d'une règle en fer et de vis. Les deux plaques, dont l'une *f* est mobile et l'autre fixe, sont reliées entre elles par deux boulons filetés *g* sur lesquels reposent les boîtes, par l'intermédiaire des saillants; les boulons fixés invariablement de chaque côté de la plaque *e* à la moitié de sa hauteur, s'engagent dans les trous dont la plaque *f* est munie latéralement et viennent se fixer sur des montants; de chaque côté de *f* se trouvent en *h* des écrous, sur lesquels sont fixées les roues dentées *i*, qui sont commandées par le pignon central *k* et s'engagent dans une saillie de la plaque de telle sorte qu'en desserrant ou serrant la presse les écrous *t*, entraînent dans leur mouvement cette même plaque *f* et l'éloignent ou la rapprochent de *e*. Au centre de la plaque fixe *e*, est pratiqué un orifice qui correspond aux ouvertures centrales des boîtes et dans lequel s'adapte un tuyau *a*, muni d'un robinet; ce tuyau communique avec la pompe au moyen de laquelle les jus troubles sont envoyés dans la presse. Lorsque les boîtes, garnies de leurs toiles, sont en place et fortement appliquées les unes contre les autres, par suite du rapprochement de la plaque mobile vers la plaque fixe, la juxtaposition des ouvertures centrales donne naissance à une sorte de canal ininterrompu entre chaque boîte et qui forme comme le prolongement du tuyau d'admission des jus *a*. Ceux-ci ne pouvant pas pénétrer dans l'intérieur des boîtes, sont obligés de se repartir dans les espaces vides compris entre les boîtes, où ils subissent une pression énergique; sous l'influence de cette pression produite par la pompe qui refoule les jus dans l'appareil, le jus clair filtre à travers les toiles, se rassemble entre les tôles perforées et s'écoule dans une rigole par les robinets *d*, adaptés à l'un des angles inférieurs des boîtes; les particules solides, qui ne peuvent pas traverser les toiles, restent entre celles-ci sous forme de tourteaux. Lorsque la filtration est arrêtée ou que le liquide ne sort plus que goutte à goutte, on fait passer dans le filtre d'abord un courant de petit jus (eau de lavage d'opérations précédentes) et ensuite de l'eau aussi chaude que possible; afin de laver les tourteaux et d'en extraire ainsi la majeure partie du jus. On éloigne ensuite la plaque mobile *f* en desserrant la presse, puis on écarte

les boîtes les unes des autres et à l'aide de couteaux en bois on détache les tourteaux des toiles filtrantes. Ceux-ci tombent dans une trémie et ensuite dans des wagonnets qui les transportent au-dehors.

Chaudière à Cuire Dans le Vide.—Dans la fabrication du sucre, le sirop sortant des filtres est envoyé dans la chaudière à cuire. Cette chaudière est en fonte revêtue d'une enveloppe en bois et chauffée au moyen de trois serpentins intérieurs superposés *a*, *b* et *c*; chaque serpentín est muni extérieurement d'un robinet adapté sur un tuyau *T*, au moyen duquel on fait arriver de la vapeur directe des générateurs. Grâce à cette disposition, on peut, suivant la hauteur du sirop dans la chaudière, chauffer d'abord par le premier serpentín inférieur seul, puis par le second, et lorsque le niveau du sirop dépasse le troisième serpentín et jusqu'à la fin de la cuite, introduire la vapeur dans les trois serpentins simultanément. Le tuyau *T*, sur lequel sont adaptés les robinets, porte un tube étroit *t*, qui est mis en communication avec un manomètre *M* indiquant la pression de la vapeur de chauffage, et que l'on peut consulter en même temps que *P*, l'indicateur de la température et de la pression intérieures. A peu près au niveau du serpentín supérieur, s'adapte un tube à robinet *H*, par lequel on fait arriver le sirop filtré contenu dans un réservoir inférieur.

La chaudière à cuire est en outre pourvue: 1° de quatre lunettes en cristal *L*, laissant voir à l'intérieur la surface du sirop en ébullition; 2° d'un entonnoir *G*, destiné à introduire un peu de graisse fondue, lorsque l'ébullition est trop tumultueuse et que la mousse produite par le sirop menace de déborder par le tube de dégagement de la vapeur; 3° d'un piston plein en bronze ou sonde, glissant à frottement doux dans un petit corps de pompe, et amenant au dehors, lorsqu'on le tire par sa poignée, un échantillon de sirop contenu dans la petite cavité dont il est muni; avec l'échantillon ainsi obtenu le cuiseur se rend compte de la marche de l'opération; 4° d'une large soupape qui ferme son fond et que l'on ouvre au moyen d'un levier, lorsque la cuite est terminée, pour évacuer le contenu de la chaudière; 5° d'un robinet à air *R*; enfin, 6° d'un tuyau *B* par lequel sont aspirés, à l'aide d'une pompe horizontale à air, d'abord l'air, lorsqu'on commence à faire le

vide dans l'appareil, et ensuite la vapeur résultant de l'évaporation du sirop.

Turbine.—Pour opérer la séparation du sucre et du sirop, on se sert des appareils désignés sous le nom de turbines. La turbine des sucreries se compose d'un tambour *s* en toile métallique fine, ouvert par en haut et maintenu extérieurement par une enveloppe en tôle percée de trous. Ce tambour est mis en mouvement, avec une vitesse de 1000 à 1500 tours par minute, à l'intérieur du réservoir en fonte *A*, et dans ce but l'axe *o*, qui le traverse, porte à son extrémité supérieure un cône de frottement *b*, garni de cuir qui est mis en activité à l'aide d'un plateau en fonte *a*; ce dernier est porté par un axe horizontal recevant son mouvement par l'intermédiaire de la poulie *c* et d'une courroie sans fin. Un ressort *d*, qui s'applique sur l'un des bouts de l'axe horizontal, met en contact et maintient dans cette position le plateau *a* et le cône *b*, lorsque l'appareil est en activité, et une vis de pression à volant *e*, appuyant par son extrémité conique sur l'autre bout de l'axe, permet, quand on veut arrêter le mouvement de la turbine, d'éloigner le plateau *a* du cône *b* et par suite de supprimer l'action du ressort. Comme, en vertu de la vitesse acquise, l'appareil tournerait encore pendant quelque temps après l'écartement du plateau *a*, on fait agir sur l'axe *o*, à l'aide du levier *h*, un ressort circulaire ou frein *g*, qui met immédiatement la turbine au repos. Le réservoir *A* est muni au niveau de son fond d'un ajutage *t*, par lequel la mélasse s'écoule, après avoir traversé les parois du tambour. Par l'entonnoir *l*, on verse de temps en temps de l'huile, afin de lubrifier le pivot de l'axe *o* et la plaque d'acier sur laquelle il repose. Enfin, un petit tube à robinet permet de faire arriver un jet de vapeur sur le sucre déjà égoutté et claircé au sirop.

On emploie depuis quelque temps des turbines dont la partie inférieure est complètement libre, le mouvement étant communiqué au tambour intérieur au moyen d'un dispositif établi au-dessous de l'appareil.

PART II.

Selections for Advanced Reading.

LA CHIMIE.

PAR ANDRÉ JOB.

(Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.)

From *La Science Française*, Vol. I. Compiled by the Ministère de l'Instruction Publique et des Beaux-Arts, Paris, for the Exposition of San Francisco, 1915.

LAVOISIER est considéré, à juste titre,¹ comme le fondateur de la Chimie moderne. Mais lui-même eut des maîtres éminents, parmi lesquels ROUELLE, et il avait eu en France un précurseur, le médecin JEAN REY qui, en 1630, dans un mémoire longtemps inconnu avait signalé, avant Boyle et Mayow, la cause de l'augmentation de poids des métaux par la calcination. Le grand mérite de Lavoisier fut de reconnaître clairement la signification et la généralité de ce phénomène, et surtout de comprendre l'importance de la pesée. Avec lui la chimie devient quantitative; une méthode expérimentale impeccable fondée sur la comptabilité des masses² permet de fixer la notion d'élément et assure le principe même de l'analyse. Dans sa carrière trop courte il eut le temps de démontrer lui-même toute la portée de sa méthode, et ses mémoires sont de véritables modèles de lucidité élégante et de logique féconde. A la science renouvelée par son génie il fallait un langage nouveau plus expressif et plus clair. GUYTON DE MORVEAU, FOURCROY, BERTHOLLET, et la pléiade des savants de cette époque s'ingénierent à le créer; ils adoptèrent une 'nomenclature' raisonnée dont l'usage s'est conservé jusqu'aujourd'hui.

En même temps la recherche chimique, assurée désormais dans sa marche, s'active dans tous les domaines qui lui sont ouverts. C'est en chimie minérale où la diversité des éléments est si grande, que l'analyse va d'abord porter la lumière. Non seulement les éléments des minéraux vulgaires vont être isolés, mais, grâce à

¹à juste titre = justly.

²comptabilité des masses = checking of weights.

la précision croissante des caractères et à l'identification plus certaine des espèces, on verra surgir des éléments nouveaux. On peut dire que, dans l'une et dans l'autre voie, la contribution des chimistes français, continuateurs de Lavoisier, a été considérable. Après que Davy, en Angleterre, eut isolé le potassium par l'électrolyse, ce furent GAY-LUSSAC et THÉNARD qui indiquèrent véritablement la préparation des métaux alcalins. A l'aide du sodium, SAINT-CLAIRE-DEVILLE réussit à son tour à donner une préparation pratique de l'aluminium. Et avec le sodium encore, PÉLIGOT prépare l'uranium métallique, après avoir montré que le soi-disant uranium électrolytique est seulement un oxide. Enfin MOISSAN, par l'électrolyse, isole le plus actif des métalloïdes, le fluor, qu'aucun chimiste avant lui n'avait pu mettre en liberté. La plupart de ces réductions se faisaient par voie sèche; aussi les chimistes acquirent-ils une grande habileté dans la technique du feu et dans l'exploration des hautes températures. C'est ainsi qu'ils réussirent à affiner le platine (DEVILLE et DEBRAY) et qu'ils apprirent à reconstituer les minéraux des roches (EBELMEN, DEVILLE et CARON, FRÉMY et VERNEUIL, HAUTEFEUILLE, etc.). Et plus récemment, Moissan, après avoir cherché le diamant, qu'il semble bien avoir reproduit, sut tirer¹ du four électrique les métaux réfractaires, les carbures métalliques et toute une série d'espèces.

Parmi les éléments inconnus que l'analyse fit surgir, les premiers et les plus importants furent le brome, découvert par BALARD, et l'iode, que découvrit COURTOIS et dont Gay-Lussac fit une magistrale étude. Ainsi se complétait d'une manière frappante, la famille des éléments halogènes. Ce fut l'origine de la classification des métalloïdes par DUMAS. Cette classification était destinée à entrer dans un cadre plus vaste, avec la loi périodique de Mendéleïeff. Mais il convient de signaler qu'avant Mendéleïeff la loi périodique fut reconnue en France par BÉGUER DE CHANCOURTOIS.² Il enroule une hélice sur un cylindre vertical, y distribue les symboles des éléments à des altitudes proportionnelles aux poids atomiques et reconnaît que les éléments analo-

¹ sut tirer = was able to obtain.

² Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Avril, 1862.

gues de chaque groupe viennent se placer ensemble périodiquement, sur la même génératrice du cylindre (vis tellurique). Cependant, les progrès de la physique fournissent des procédés d'identification de plus en plus délicats, et grâce au spectroscope (Bunsen), LECOQ DE BOISBAUDRAN va découvrir le gallium, et LAMY le thallium, à la place prévue dans la classification. De même, dans le groupe si complexe et si étroitement uni des terres rares, le spectroscope permettra de discerner les éléments jumeaux. Lecoq de Boisbaudran, DEMARÇAY, URBAIN, ont excellé dans ces recherches. On leur doit la définition du samarium (Lecoq de Boisbaudran), des composants du didyme (Demarçay), du lutécium (Urbain). Enfin, la radioactivité, découverte par BECQUEREL sur l'uranium, révèle à CURIE et à Mme. CURIE, dans les minerais d'uranium, un élément radioactif inconnu, le radium. La découverte du radium est grosse de conséquences. C'est une science nouvelle qui commence, la science des éléments périssables et de leur filiation.

Les éléments étant trouvés, la tâche des chercheurs est de reconnaître toutes les voies par lesquelles ils entrent en combinaison. Parmi les composés qui prennent naissance, il en est de plus importants que leur activité désigne comme générateurs d'espèces nouvelles. Ce sont ceux-là qui ont particulièrement fixé l'attention de nos chimistes. Tels les acides dont l'étude fut par eux incessamment poursuivie (DUMAS, PÉLIGOT, MILLON, CLÉMENT et DESORMES, BERTHELOT); ou les peroxydes comme l'eau oxygénée (THÉNARD) et l'ozone (HAUTEFUILLE et CHAPUIS); ou les complexes métalliques instables, composés du platine (DEBRAY, JOLY et leurs élèves), composés du chrome (RECOURA), etc.

Mais pour la conquête et la systématique des espèces nouvelles, c'est la chimie organique qui fournit un inépuisable domaine, et là va s'affirmer mieux encore la tendance française vers la généralisation et la clarté. Quand on considère l'infinie variété des matériaux organiques naturels et la complexité de leurs mélanges, on comprend que la première difficulté fut d'en extraire des espèces définies. Les chimistes s'efforcèrent d'abord de les atteindre (principes immédiats). Dans cette voie il faut citer

VAUQUELIN et PROUST, qui furent des analystes très habiles, sur tout CHEVREUL, qui sut aborder le problème de la diagnose de matières grasses, et se révéla comme un maître. Après eux la détermination des produits animaux et végétaux occupa de chimistes de grand talent comme BRACONNOT, DESSAIGNES, PELLETIER et CAVENTOU, ROBRIQUET, plus tard BERTHELOT, BOUCHARDAT, ARMAND GAUTIER, MAQUENNE, etc. Les principes immédiats étant isolés, on les soumet ensuite aux réactifs qui le transforment. Généralement ils se résolvent en composés plus simples. Les graisses se dédoublent ainsi en glycérine et acide gras. C'est la grande découverte de Chevreul. De même, l'hydrolyse dédouble les glucosides. Elle décompose la gélatine, d'où Braconnot extrait le premier des aminoacides, le glycocolle. Un peu plus tard, SCHUTZENBERGER, dans un travail resté célèbre étudie la dégradation ménagée des matières albuminoïdes, caractérise les aminoacides qui en dérivent et prépare la voie aux recherches modernes sur les polypeptides. Mais ces dégradations ne font que multiplier les espèces, et plus elles se multiplient plus se fait sentir le besoin de les classer.

Une idée maîtresse guida les premiers essais de classification l'idée de la fonction chimique. La fonction désigne, non pas seulement une propriété, mais un ensemble de propriétés communes à un groupe de substances. Ainsi, de la comparaison de l'esprit de bois avec l'alcool de vin, et de celui-ci avec l'huile de pommes de terre est née la notion d'alcool ou de fonction alcool. Cette notion de la fonction alcool, qui fut nettement précisée par Dumas et Peligot, dans leur travail classique sur l'esprit de bois se montra singulièrement féconde. En effet, si l'alcool se multiplie par voie d'homologie, chacun de ses dérivés (aldéhyde, acide, carbure, etc.) va se multiplier de même en séries parallèles. Dès lors, c'est tout un domaine de la chimie organique soumis à une coordination régulière, et tout un vaste programme dressé d'avance pour la recherche.

Pourtant, il ne suffit pas de préparer des cadres à la multiplicité des espèces. Il faut encore connaître les conditions de leur genèse et lois de leur filiation. Elles trouvent leur parfaite expression dans la théorie atomique. Or, c'est en France que

cette théorie a pris sa forme précise et son premier développement. Chercher des lois, c'est prendre des repères fixes parmi les métamorphoses de la matière, c'est mettre en évidence des invariants. Un premier invariant est la masse; un autre invariant est le nombre proportionnel de l'élément dans ses combinaisons (Dalton) et si l'on considère en particulier la combinaison à l'état gazeux, la simplicité des rapports de volume (loi de Gay-Lussac) interprétée par l'hypothèse d'Ampère et d'Avogadro donne aux nombres proportionnels une signification physique d'où naît la notion de molécule et d'atome. Les atomes élémentaires peuvent eux-mêmes former des groupes, sortes d'invariants provisoires qui se conservent d'une molécule à l'autre, et qu'on désigne sous le nom de radicaux. Le radical du cyanogène, mis en évidence par Gay-Lussac, en est un exemple. Comment les composés se forment-ils avec les atomes ou les radicaux? La théorie dualistique de BÉRZÉLIUS, fondée sur les considérations d'électrochimie, et valable surtout pour la chimie minérale, insistait sur les combinaisons d'addition. Mais Dumas découvre l'acide chloracétique. L'importance de la notion de substitution s'impose à son esprit, et il la fait accepter par l'Allemand Liebig. Enfin, AUG. LAURENT et Charles GERHARDT lui donnent toute sa valeur en l'associant à une idée neuve et féconde, celle des types chimiques. Grâce à eux, la filiation réelle des espèces apparaît maintenant d'une façon claire. Elle se fait par la substitution des atomes ou des radicaux dans les types. WÜRTZ eut le bonheur de donner à la théorie son développement expérimental et d'en montrer toute la richesse. Parmi les espèces qu'il a créées, les amines sont justement le modèle achevé de la conservation du type chimique. Après lui, la théorie atomique subira encore une simplification, celle qu'y introduit KÉKULÉ en rapportant le type à la valeur des atomes. Mais il reste un progrès à accomplir pour arriver à l'intelligence claire de tous les assemblages d'atomes. PASTEUR, qui débute dans la science par l'étude cristallographique des tartrates isomères, conçoit la notion de la dissymétrie moléculaire. Et c'est le Français LE BEL qui, en même temps que Van't Hoff, donne à cette notion son image représentative (le carbone tétraédrique) et fonde la stéréochimie. La liste serait

longue de tous les travaux importants que la théorie atomique a suscités en France. Dumas et Würtz furent vraiment des chefs d'école et des inspireurs de génie. On ose à peine citer, de peur d'oublier de grands noms, les savants qui ont collaboré à leur oeuvre ou qui l'ont continuée (MALAGUTI, REGNAULT, CAHOURS, CHANCEL, et plus tard, FRIEDEL, GRIMAU, JUNGFLISCH, Armand GAUTIER, puis HALLER, BÉHAL, BOUVEAULT, BARBIER et GRIGNARD, etc.).

Dans toute cette floraison de découvertes, si les hypothèses ont servi de guides précieux, l'habileté et le tact des expérimentateurs ont joué un grand rôle. A cet égard, nous devons citer et mettre hors de pair¹ un expérimentateur qui fut en même temps un penseur de génie, BERTHELOT. Il fut un des premiers à comprendre toute l'importance de la synthèse en chimie organique. Mais moins soucieux de multiplier les espèces que de donner la preuve philosophique de leur filiation à partir du carbone minéral, il s'attacha surtout à créer de toutes pièces² les substances organiques les plus simples et les plus importantes. Il s'est borné presque toujours à des synthèses par addition (alcool, acide formique, benzine, etc.). Le nombre en est forcément limité, mais les moyens mis en oeuvre, la lumière qu'ils projettent sur les mécanismes de réaction les plus délicats, sont d'un enseignement très important pour l'avenir de la chimie. Il n'est pas étonnant de trouver parmi les élèves mêmes de Berthelot de nombreux expérimentateurs de talent, et en particulier SABATIER, à qui l'on doit (en collaboration avec SENDERENS) l'étude pratique de l'hydrogénation par catalyse. Berthelot eut peut-être le tort d'exagérer l'importance d'ailleurs très réelle des données thermochimiques, mais il eut, d'autre part, le grand mérite de faire l'étude de la réaction chimique pour elle-même et pour son mécanisme. La même préoccupation inspirait en même temps que lui un autre chercheur de génie, SAINTE-CLAIRE-DEVILLE, qui décrouvrit que les composés de la chimie minérale réputés les plus stables subissent aux températures élevées une décomposition réversible (dis-

¹ mettre hors de pair = to put in a class by himself.

² créer de toutes pièces = to make a complete synthesis.

sociation). Sainte-Claire-Deville aussi fit école¹ et suggéra de nombreux travaux (Debray, Troost, Hautefeuille, LEMOINE, etc.). L'étude des équilibres, dont l'importance avait été pressentie par BERTHOLLET, se poursuit plus tard avec le concours de la thermodynamique et devient la base même de la chimie physique. On doit à LE CHATELIER, interprète de la pensée du mathématicien Gibbs, d'y avoir apporté, dès le début, des vues claires et fécondes.

Ainsi, dans tous les domaines de la théorie, nous trouvons en France des novateurs. Dans l'ordre des applications, nous les retrouvons encore. En chimie minérale, Berthollet crée l'industrie du blanchiment par le chlore, LE BLANC crée l'industrie de la soude, SCHLOESING et ROLLAND, avant Solvay, préparent en grand la soude à l'ammoniaque. MARGUERITE et SOURDEVAL démontrent pratiquement la synthèse même de l'ammoniaque à partir de l'azote atmosphérique par l'intermédiaire des cyanures. Sainte-Claire-Deville crée l'industrie de l'aluminium, Moissan celle du carbure de calcium. Et OSMOND donne aux métallurgistes ce remarquable instrument de progrès, la métallographie. En chimie organique, l'industrie des acides gras prend naissance avec Chevreul, et celles des matières colorantes avec VERGUIN, ROSENSTIEHL, LAUTH, etc. Enfin, c'est surtout dans la chimie biologique que se manifestent de la façon la plus frappante les influences réciproques de la pratique et de la science. Ainsi l'étude du sol et des engrais pose le grand problème des migrations de l'azote. BOUSSINGAULT, Berthelot, Schloesing et MUNTZ sont les principaux savants qui l'ont éclairci. C'est également le souci des applications qui n'a cessé de diriger le grand Pasteur dans ses travaux. Parti de la séparation biologique des tartrates isomères, il est conduit d'abord à l'étude des fermentations, puis des maladies des vins et des bières, enfin des virus et des vaccins. Il est inutile d'insister sur les bienfaits que l'humanité doit à ses travaux et à ceux de ses élèves (DUCLAUX, METCHNIKOFF, ROUX, etc.). Mais notons que, par un heureux retour, la chimie théorique elle-même y trouve matière² à de nouveaux progrès. En

¹ faire école = to be a leader.

² y trouve matière = finds ground.

effet, la considération des ferments figurés ramène inévitablement à celles des ferments solubles et remet en question le mécanisme des réactions par catalyse et le rôle des infiniment petits chimiques¹ (travaux de G. BERTRAND, BOURQUELOT, etc.).

Et maintenant, l'historien qui voudrait faire le recueil de tous ces travaux, dans quels monuments écrits en trouverait-il la trace? Très peu de mémoires ont été publiés séparément. Dans une bibliothèque de chimie, on ne trouve guère à l'état isolé que quelques livres d'enseignement. Toutes les recherches sont exposées dans les revues et publications collectives. Encore peut-on s'étonner du peu de place matérielle qu'elles occupent. Ainsi les Annales de Chimie et de Physique qui pourtant publient les principaux mémoires dans les deux ordres de sciences, n'éditent guère, en moyenne, que deux ou trois modestes volumes par an. C'est que la tradition française a toujours été d'écrire court. C'est que la critique de nos maîtres s'est exercée à ne retenir que les résultats qui comptent et les idées qui éclairent. Leur devise n'est pas: "toujours plus de faits," mais bien: "toujours plus de lumière."

FLUOR.

$$F = 19.$$

PAR HENRI MOISSAN,

Membre de l'Institut, Professeur à l'Université de Paris.
Traité de Chimie Minérale par H. Moissan, Vol. I, p. 64.

Etat Naturel.—Le fluor est l'élément le plus actif de la chimie, aussi ne se rencontre-t-il dans la nature qu'à l'état de combinaison; toutefois sa présence à l'état libre a été signalée exceptionnellement par Becquerel et Moissan dans la fluorine de Quincié (France). Quelques auteurs avaient déjà observé que certains échantillons de fluorine émettaient parfois au moment de leur pulvérisation, une odeur pénétrante particulière, rappelant celle de l'ozone ou des composés oxygénés du chlore. Diverses hypothèses furent émises sur la nature de ce dégagement gazeux odorant, qui fut considéré tour à tour comme étant dû à l'acide hypo-

¹ infiniment petits chimiques = infinitely small chemical particles.

chloreux, à l'ozone ou même à du fluor, soit libre, soit qu'il provint de la dissociation d'un perfluorure. Les expériences de Becquerel et Moissan ne laissant subsister aucun doute sur ce sujet, et le fluor libre a été nettement caractérisé. Depuis, Lebeau a également retrouvé du fluor libre dans des inclusions, de couleur foncée, de l'émeraude de Chanteloube, (France).

Les véritables minerais de fluor sont la fluorine CaF_2 et la cryolithe $\text{Al}_2\text{F}_6 \cdot 6\text{NaF}$. On rencontre encore cet élément comme principe constituant d'un assez grand nombre d'espèces minérales beaucoup moins abondantes telles que la fluocérine, la basicérine, l'yttrécrite, la topaze, etc. Le fluor se trouve en petite quantité dans les apatites et les différentes variétés de phosphates naturels. Sa présence a été également signalée dans beaucoup de minéraux silicatés. Quelques eaux minérales contiennent une petite quantité de fluorures solubles. L'une des plus riches en fluor serait celle de Gerez (Portugal), qui renfermerait 22 à 25 milligrammes de fluorures alcalins par litre.

A l'état de fluorure de calcium, le fluor existe dans les os fossiles, où il fut déjà signalé en 1806 par Proust et par Delaméthérie. Ce fait a été confirmé par différents auteurs, et le fluor a été rencontré ensuite dans les os des animaux vivants. Carnot trouve dans les os modernes 0,20 à 0,63 de fluor de calcium et de 0,88 à 6,21 dans les os fossiles. La proportion de fluor de calcium est d'autant plus grande que les fossiles appartiennent à une époque géologique plus ancienne. L'émail des dents renferme également du fluor de calcium, 0,65 à 1,40 pour 100 d'après Wrampelmeyer. La présence de ce fluorure a été encore caractérisée dans diverses autres parties de l'organisme animal et particulièrement dans le cerveau, dans le sang et dans le lait. Dans le règne végétal, on en trouve également dans les cendres des végétaux, notamment dans celles des graminées. Les fluorures avaient d'ailleurs été décélés déjà dans les bois fossiles et dans la houille.

Préparation.—L'acide fluorhydrique, rigoureusement anhydre, ne conduit pas l'électricité, ainsi que l'ont observé divers expérimentateurs. Moissan, qui fit la même constatation, parvint à le rendre conducteur en y dissolvant du fluorhydrate de fluorure de

potassium. Grâce à l'intervention de ce sel, un courant électrique, d'intensité suffisante peut produire la décomposition de l'acide avec dégagement d'hydrogène au pôle négatif et de fluor au pôle positif. L'appareil primitivement employé par Moissan était en platine; des recherches plus récentes lui ont permis de remplacer ce métal coûteux par le cuivre.

L'électrolyseur se compose d'un tube en U en cuivre, de 500cc de capacité, dans lequel on introduit 200cc d'acide fluorhydrique anhydre et 60 gr. de fluorhydrate de fluorure de potassium. Chacune des branches de ce tube est fermée à l'aide d'un bouchon à vis dans lequel est serti¹ un cylindre de fluorine traversé lui-même par une électrode en platine. Cette électrode est terminée en forme de massue, et pénètre à une petite distance de la courbure du tube. Ce dernier porte en outre sur chaque branche un tube à dégagement. Celui qui communique avec l'atmosphère sert au dégagement de l'hydrogène; l'autre est relié à un serpentín de cuivre refroidi à -80° puis à une série de tubes renfermant du fluorure de sodium sec. Ces appareils ont pour but de retenir l'acide fluorhydrique entraîné par le courant de fluor. Les joints sont obtenus à l'aide de serrage, au moyen d'un écrou, d'ajutages tronconiques qui viennent écraser de petites rondelles de plomb.

La mise en marche d'une expérience exige la préparation préalable de l'acide fluorhydrique anhydre. L'acide fluorhydrique est refroidi énergiquement et versé aussi rapidement que possible dans le tube en U, qui est lui-même à la température de -50° . On ajoute ensuite le fluorhydrate de fluorure de potassium par petites portions. On ferme l'appareil, et l'on ajuste les différentes parties, puis on fixe sur les électrodes les fils conducteurs permettant de faire passer le courant. Après quelques minutes le fluor se dégage très régulièrement. Avec un courant de 50 volts et de 15 ampères, on obtient un rendement d'environ 5 litres par heure. En maintenant le serpentín de cuivre à -80° et en employant deux ou trois ampoules à fluorure de sodium, le fluor dégagé est pur et complètement débarrassé d'acide fluorhydrique. On peut le recueillir par déplacement et même le conserver dans des flacons en verre très propres et bien secs.

¹ est serti = is set.

Les réactions accomplies dans cette électrolyse sont assez complexes. Elles ne comprennent pas seulement la décomposition de l'acide fluorhydrique et du fluorure de potassium, mais le platine de l'électrode positive intervient aussi. On constate en effet que cette électrode est assez rapidement corrodée et qu'une petite quantité de platine entre en solution, en même temps qu'il se dépose au fond du tube un composé de platine, de potassium et de fluor ou d'acide fluorhydrique.

C. Poulenc et M. Meslans ont étudié la préparation du fluor au point de vue industriel. Ils ont décrit un appareil en cuivre dans lequel ils ont substitué au tube en U de Moissan un dispositif à diaphragme. Ce dernier est constitué par une paroi de cuivre perforée, qui, au début de l'électrolyse, se recouvre d'une couche isolante de fluor de cuivre. L'anode est en platine mais refroidie intérieurement. Elle est fixée sur cuivre et placée de telle sorte que le fluor, une fois libéré, n'est plus en contact qu'avec des parois de cuivre. L'isolement des différentes parties de l'appareil est obtenu avec le caoutchouc.

Propriétés Physiques.—1° Fluor gazeux.—Le fluor est un gaz coloré: sous une épaisseur de 1 mètre, il possède une couleur jaune verdâtre, plus faible que celle du chlore. La teinte s'approche davantage du jaune. La densité de cet élément a été trouvée égale à 1,26. La densité calculée pour $F = 19,05$ est 1,314. Brauner attribue cette différence à l'existence d'un mélange d'atomes F et de molécules F_2 . La détermination de cette densité a été faite par Moissan au moyen d'un flacon de platine muni d'un dispositif rappelant l'appareil de Chancel.

Le coefficient de dilatation du fluor gazeux, calculé par Sperber, serait 0,000304.

Le spectre d'émission du fluor a été étudié par Moissan qui a reconnu 13 raies placées dans la partie rouge du spectre. Les spectres observés et comparés étaient produits par l'étincelle électrique jaillissant entre des électrodes d'or ou de platine au sein du fluor ou d'un composé fluoré gazeux, tel que le fluorure de silicium, le tétrafluorure de carbone, le trifluorure de phosphore, etc. Salet avait antérieurement, par la comparaison des spectres du chlorure et du fluorure de silicium, attribué 5 raies au spectre

du fluor. Elles concordent sensiblement avec celles déterminées par Moissan.

2° Fluor Liquide.—Le fluor se liquéfie par son passage dans un tube de verre maintenu dans l'air liquide bouillant, sous pression normale. Si le tube est plongé dans l'oxygène liquéfié, la liquéfaction n'a plus lieu que si ce dernier bout sous pression réduite (32,5 cm. de mercure). Le point d'ébullition est voisin de -187° . La solidification du fluor ne s'effectue pas à -210° . La densité approchée du fluor liquide est 1,14 à -200° . En se servant de cette donnée et après corrections, Ramsay et Drugmann ont calculé $D = 1,10$. Pour un abaissement de température de -187° à -210° , ce corps subit une diminution de volume de $1/14$.

Le fluor liquide n'est pas magnétique, il ne possède point de spectre d'absorption pour une épaisseur de 1 centimètre. Sa constante capillaire est plus faible que celle de l'oxygène liquide. Toutes ces déterminations ont été faites par Moissan et Dewar.

3° Fluor Solide.—La solidification du fluor a été produite récemment par Moissan et Dewar. Le fluor gazeux était emprisonné dans un tube de verre scellé, terminé à l'une de ses extrémités par une partie plus étroite que l'on plongeait dans l'hydrogène liquide. Le fluor se condensait rapidement à l'état liquide, puis prenait l'état solide. En maintenant le tube dans l'hydrogène liquide un temps suffisant pour que la matière atteigne la température de 20° , 5 absolus, le fluor solide devenait blanc. Ce phénomène de décoloration est identique à celui que l'on observe pour le chlore, le brome et le soufre. Le point de fusion du fluor est voisin de 40° degrés absolus, c'est-à-dire de -223° du thermomètre centigrade. Le rapport de la température de fusion à celle de l'ébullition est un peu plus faible que les rapports correspondants pour le chlore et le brome.

Propriétés Chimiques.—*1° Fluor gazeux.*—Action sur les métalloïdes.—L'hydrogène se combine au fluor à froid et à l'obscurité sans l'intervention d'une énergie étrangère. Le fluor se dégageant, à l'extrémité d'un tube de platine, dans une atmosphère d'hydrogène brûle avec une flamme bleue bordée de rouge, en produisant de l'acide fluorhydrique (H. Moissan).

Le chlore ne produit avec le fluor aucune réaction sensible.

Le brome réagit à froid avec production d'une flamme peu éclairante. L'iode est également attaqué avec flamme, en donnant un liquide incolore fumant à l'air, le pentafluorure, d'iode IF_5 (H. Moissan).

Le fluor et l'oxygène ne paraissent pas devoir se combiner directement; le mélange des deux gaz ne donne lieu à aucun phénomène calorifique appréciable. L'ozone même semble être sans action.

La combustion du soufre dans le fluor a lieu à la température ordinaire avec une flamme blafarde. Si le verre n'intervient pas dans la réaction, on obtient l'hexafluorure de soufre SF_6 à peu près pur. Le sélénium et le tellure s'unissent aussi au fluor avec incandescence.

Le fluor et l'azote n'ont pu jusqu'ici être combinés. Le phosphore fournit avec le fluor du pentafluorure de phosphore PF_5 . A la température ordinaire, l'arsenic donne avec le fluor un liquide fumant, incolore, ayant les propriétés du trifluorure d'arsenic AsF_3 . La réaction a lieu avec incandescence. Dans les mêmes conditions l'antimoine fournit un fluor solide blanc.

Le bore pur brûle à froid dans le fluor avec incandescence et production de trifluorure de bore BF_3 .

Le carbone s'unit d'autant plus facilement au fluor qu'il est moins polymérisé. Les variétés amorphes non calcinées brûlent à froid, le graphite exige une température un peu inférieure au rouge, le diamant n'est pas sensiblement attaqué vers 700° .

Le silicium amorphe ou cristallisé réagit sur le fluor énergiquement à froid, avec une vive lumière et formation de fluorure de silicium SiF_4 .

Action sur les Métaux.—Les métaux alcalins se combinent à la température ordinaire au fluor gazeux. Il y a incandescence et formation de fluorures.

Le calcium produit de même une réaction très violente, et le fluorure de calcium qui en résulte est presque toujours fondu.

Le thallium, mis au contact du fluor à froid, se recouvre d'abord d'une couche blanche, puis entre en fusion¹ et est porté au rouge.

¹ entre en fusion = starts to fuse.

Il se transforme entièrement en une masse liquide brune qui se solidifie par refroidissement.

Le magnésium, en lingots ou en fils, est attaqué superficiellement à froid. Au rouge sombre et à l'état de limaille, il brûle avec beaucoup d'éclat en donnant un fluorure blanc. Le zinc ne se combine pas à froid au fluor; par une faible élévation de température, la combinaison se produit avec une vive lumière.

Une tige de fer polie placée dans une atmosphère de fluor se recouvre aussitôt d'une couche légère de fluorure. L'attaque ne se continue que très lentement. Le fer porphyrisé se comporte de même, mais au-dessous du rouge il se produit une vive incandescence et il se dégage des vapeurs très denses. Le fer réduit par l'hydrogène se combine à froid avec une très grande énergie et formation d'un fluorure de fer anhydre blanc, soluble dans l'eau. Le manganèse et le chrome pulvérisés et légèrement chauffés brûlent avec éclat dans le fluor.

L'aluminium bien décapé¹ se recouvre, en présence du fluor, d'une petite couche de fluorure d'aluminium qui empêche une attaque plus profonde. Si l'on porte l'aluminium au rouge sombre, la réaction devient vive et donne du fluorure d'aluminium avec incandescence.

Le fluor ne réagit pas à froid sur le molybdène en fragments; mais, lorsque ce métal est grossièrement pulvérisé, il se fait un fluorure volatil. Le tungstène est attaqué à la température ordinaire en donnant également un fluorure volatil. L'uranium en poudre fine, préparé par électrolyse, prend feu dans le fluor; il brûle avec un grand éclat et produit un fluorure volatil de couleur verte.

L'étain paraît se combiner lentement à froid au fluor; à 100°, il se produit une réaction énergique avec formation d'un fluorure blanc. Le bismuth donne seulement au rouge sombre un enduit de couleur foncée.

Le plomb peut être complètement transformé à froid en un fluorure blanc. A chaud, il y a incandescence et production de fluorure de plomb fondu. Le mercure est attaqué dès qu'il est en contact avec le fluor, alors même que ce dernier est dilué dans

¹ bien décapé = well fluxed.

un autre gaz. Cependant la couche de fluorure formé ralentit considérablement l'attaque, et l'on peut conserver une éprouvette de fluor retournée sur le mercure pendant un temps assez long.

En présence du fluor le cuivre ne donne à froid qu'un enduit très superficiel qui protège le métal; la transformation complète en fluorure n'a lieu qu'au rouge. Cette propriété du cuivre, et celle qu'il possède de n'être pas attaqué par l'acide fluorhydrique anhydre, ont permis de substituer ce métal au platine pour la fabrication des appareils à fluor.

L'argent ne donne à la température ordinaire qu'une attaque très lente, qui devient sensible déjà à 100° , et qui s'accélère au fur et à mesure que¹ la température s'élève. La limaille d'argent, portée au rouge sombre, dans un courant de fluor, se transforme en fluorure avec incandescence.

L'or n'est pas attaqué à froid. Au rouge sombre, des fils d'or, maintenus dans un courant de fluor, se recouvrent d'une substance jaune chamois très hygroscopique.

Le fluor pur réagit fortement sur le platine vers 500 à 600° , en donnant le fluorure PtF_4 et une petite quantité de protofluorure. Le palladium, le ruthénium et l'iridium ne sont pas attaqués à froid par le fluor, mais fournissent des fluorures au-dessous du rouge sombre. Le fluorure de ruthénium est volatil et sa vapeur est fortement colorée.

Action sur les Composés Hydrogénés des Métalloïdes.—Les hydracides halogénés, sauf l'acide fluorhydrique, sont violemment décomposés par le fluor lorsqu'ils sont à l'état gazeux ou à l'état de solution aqueuse. Il y a production du métalloïde correspondant et d'acide fluorhydrique.

Le fluor décompose l'eau à la température ordinaire avec formation d'acide fluorhydrique et d'ozone. La combustion du fluor se produit au contact d'une atmosphère d'hydrogène sulfuré, en donnant lieu à des composés fluorés de soufre et à de l'acide fluorhydrique. En présence du gaz humide, il se forme surtout du fluorure de sulfuryl SO_2F_2 .

Le gaz ammoniac est décomposé par le fluor, avec production d'une flamme jaune. Dans la solution ammoniacale, chaque bulle

¹ au fur et à mesure que = as.

de fluor produit une flamme accompagnée de détonations (H. Moissan).

Action sur Quelques Anhydrides de Métalloïdes.—L'action du fluor sur le gaz sulfureux est assez différente, suivant les conditions de l'expérience. Lorsque l'on fait arriver quelques bulles d'anhydride sulfureux dans une éprouvette de verre remplie de fluor, la combinaison est violente, elle se produit avec explosion et une grande partie du gaz est rejetée hors de l'éprouvette. Dans ces conditions, il se forme un mélange de fluorure de thionyle, d'oxygène et d'une petite quantité d'un oxyfluorure de soufre, non absorbable par l'eau et décomposable par une solution alcaline. Au contraire, si l'on fait arriver le courant de fluor dans une atmosphère de gaz sulfureux, il ne se produit pas de réaction immédiate, mais dès que le fluor atteint dans le mélange une certaine tension, il se fait une explosion violente et l'appareil est brisé. Enfin, si l'on détermine, en élevant la température, la combinaison continue du fluor et de l'anhydride sulfureux, la réaction se poursuit tranquillement et l'on obtient le fluorure de sulfuryl SO_2F_2 .

L'anhydride phosphorique est attaqué au rouge sombre avec dégagement gazeux de fluorure et d'oxyfluorure de phosphore. L'anhydride arsénieux est attaqué à froid avec violence. Il brûle au contact du fluor avec une flamme livide et production d'un composé liquide.

L'anhydride carbonique ne réagit point à froid sur le fluor. La silice est transformée à froid en fluorure de silicium et oxygène avec une très belle incandescence.

La plupart des composés halogénés des métalloïdes sont attaqués par le fluor, dès la température ordinaire, et avec une grande énergie.

Action sur les Composés des Métaux.—Le fluor décompose les sels halogènes métalliques en déplaçant le métalloïde, avec lequel il peut même se combiner dans les cas des bromures et des iodures, pour fournir un fluorure métallique. Par exemple, lorsqu'on met un fragment froid de chlorure de sodium, fondu au préalable¹, au contact du gaz fluor, il y a dégagement de chlore

¹ fondu au préalable = previously melted.

et formation de fluorure de sodium. Le fluor déplace de même à froid le chlore du chlorure de potassium, du chlorure de calcium, du chlorure d'argent, etc. Pour les chlorures de mercure, il suffit d'élever légèrement la température pour que la réaction se produise.

Dans le cas du bromure de potassium, la réaction est très vive, le brome est déplacé à froid et se combine au fluor avec flamme, en même temps qu'il se forme du bromure de potassium. Avec l'iodure il se produit une réaction analogue.

Le fluor réagit également d'une façon très active sur les cyanures avec formation d'un fluorure métallique.

Les oxydes alcalins et alcalino-terreux sont attaqués à froid par le fluor. Au contact de ces derniers, la réaction se produit avec une incandescence très vive. Pour les autres oxydes, la réaction exige le plus souvent une élévation de température. Les sulfures métalliques se comportent d'une façon identique. Les azotures et les phosphures sont aussi très facilement détruits par le fluor.

La plupart des sels métalliques, sulfates, azotates, phosphates, carbonates, borates, silicates, etc., sont attaqués par le fluor même à la température ordinaire. Dans certains cas, la façon d'agir du fluor sur ces composés peut être considérablement modifiée par la présence d'une trace d'eau et par la formation d'acide fluorhydrique. C'est ainsi que Moissan a pu constater que le fluor bien sec ne réagissait pas sur le verre jusqu'à la température de 100°. Une ampoule de verre, remplie de fluor, peut même être maintenue à cette température pendant plusieurs heures sans être attaquée.

Action sur les Composés Organiques.—L'action du fluor sur les composés organiques est généralement très violente. Dès que la décomposition du corps organique a commencé, la chaleur dégagée est assez grande pour que la destruction devienne totale et qu'il ne se produise que de l'acide fluorhydrique et des fluorures de carbone. Cette décomposition est surtout rapide pour les composés riches en hydrogène.

Les carbures d'hydrogène sont attaqués à froid avec flamme. Il se produit des mélanges gazeux dans lesquels on a caractérisé

le fluorure de carbone, l'acide fluorhydrique, et souvent aussi un dépôt de charbon.

Les alcools et les éthers sont attaqués à froid pour la plupart et la réaction se produit avec flamme. Il en est de même pour les aldéhydes et les acides. Toutefois, parmi ces dérivés, il en est quelques-uns qui ne s'attaquent qu'avec difficulté. Parmi les composés azotés, les amines, les alcaloïdes, sauf la strychnine, sont détruits par le fluor avec énergie dès la température ordinaire.

Il résulte de l'ensemble de ces propriétés que le fluor possède une activité chimique très remarquable. Il n'existe pas d'élément connu qui nous présente des réactions aussi énergiques. Les propriétés mentionnées ci-dessus ont été indiquées par Moissan.

2° Fluor Liquide.—Moissan et Dewar ont pu réaliser l'étude de quelques propriétés chimiques du fluor liquide.

A la température de -210° , la combinaison du fluor et de l'hydrogène se produit avec un grand dégagement de chaleur et de lumière. Il semble en être de même pour les composés organiques hydrogénés; ainsi l'essence de térébenthine, congelée et refroidie à -210° , s'enflamme au contact du fluor liquide.

L'oxygène liquide dissout le fluor, et si nous laissons la température s'élever, les premières portions gazéifiées sont formées d'oxygène à peu près pur, les dernières portions au contraire, très riches en fluor, possèdent les réactions de ce gaz. Si l'air liquide a été abandonné à lui-même pendant quelque temps, le fluor y produit un précipité très détonant qui paraît être un hydrate de fluor. L'étude en est incomplète.

L'iode ne réagit point sur le fluor liquide. Le soufre s'y combine avec énergie en donnant une flamme bleue intense. Le sélénium réagit encore violemment. Le tellure est sans action.

Le phosphore et l'arsenic brûlent avec flamme au contact du fluor liquide; l'antimoine, au contraire, reste inaltéré et conserve son état métallique. Il en est de même pour le bore, le silicium et le carbone, tous ces corps ont été refroidis à -210° , à l'abri de l'humidité, avant d'être mélangés au fluor liquide.

Certaines réactions, produites par des corps composés sont aussi très énergiques à basse température. La chaux, par exemple, est violemment attaquée, avec incandescence. Le fluor

présente donc encore vers -200° une affinité chimique très grande. Par contre, il ne réagit plus sur l'eau. A -200° , le fluor liquéfié forme, à la surface de la glace, une couche mobile qui, par une élévation de température d'une vingtaine de degrés, se volatilise sans réagir.

3° Fluor Solide.—Moissan et Dewar ont pu constater que l'affinité du fluor pour l'hydrogène peut encore se manifester avec énergie lorsque l'hydrogène liquide est mis en contact avec le fluor solide. Une violente explosion se produit à 20° absolus. L'affinité chimique se maintient donc à des températures très basses.

Propriétés Physiologiques.—Le fluor possède une odeur très pénétrante se rapprochant de celle de l'acide hypochloreux et facile à différencier de l'odeur de l'ozone. Ce gaz irrite fortement les muqueuses, alors même qu'il n'existe dans l'atmosphère qu'à l'état de trace. Au contact de la peau, il provoque une vive sensation de brûlure, et il se produit une désorganisation immédiate des tissus. A l'état de combinaison, son rôle biologique est encore très incomplètement connu et mériterait de nouvelles recherches.

Caractères et Analyse.—Le fluor libre se reconnaît déjà à son odeur; c'est une réaction d'une grande sensibilité. Etant donnée l'activité chimique de cet élément, le nombre des réactions susceptibles de le déceler est très grand. A l'état de gaz à peu près pur, il réagit sur le silicium dès la température ordinaire avec incandescence et formation de fluorure gazeux (Moissan). Il enflamme également le noir de fumée ou un fragment de liège ou de bois incomplètement carbonisé. Lorsqu'il n'existe qu'en petite quantité, on pourra employer les réactions suivantes; coloration du papier ozonométrique, déplacement du chlore, du brome et de l'iode dans les chlorures, bromures ou iodures alcalins, décomposition de l'eau qui devient de suite acide avec production d'acide fluorhydrique facile à caractériser (H. Moissan).

Le dosage du fluor libre peut être effectué par un très grand nombre de méthodes, mais aucune n'a été encore précisée jusqu'ici. Lorsqu'il est combiné, on l'amène généralement à l'état de fluorure alcalin et on le précipite sous forme de fluorure de

calcium. Dans quelques procédés de dosage, on utilise sa transformation en fluorure de silicium.

Poids Atomique.—Le poids atomique du fluor a été déterminé pour la première fois par Davy, en 1814, au moyen de la transformation du fluorure de calcium en sulfate de calcium. Il trouva pour $O = 16$ le nombre 18,82. De nouvelles déterminations furent faites en 1818 et en 1824 par Berzelius. Elles étaient basées sur l'analyse du fluorure d'argent et du fluorure de baryum; elles le conduisirent à admettre les nombres 19,165 et 19,168. En 1849, Louyet, appliquant les mêmes méthodes, trouva $F = 18,99$. Depuis, Frémy, Dumas, De Luca, Meyer et Seubert furent conduits à des résultats semblables. Christensen procéda d'une manière toute différente, et obtint, pour $H = 1$, $F = 18,96$, ou pour $O = 16$, 18,99, en titrant par voie iodométrique, un dérivé ammoniacal bien cristallisé du fluorure manganique, ayant pour formule $Mn_2F_6 \cdot 4NH_4F$. Enfin, en 1890, Moissan trouva comme moyenne de ses déterminations portant sur l'analyse des fluorures de calcium, de baryum et de sodium purs, le nombre 19,05. La commission internationale des poids atomiques a adopté pour le fluor $F = 19,00$.

Atomicité.—Le fluor se comporte comme un élément monovalent.

Applications.—Les difficultés que présente la préparation de cet élément, et aussi son prix de revient relativement élevé, en ont jusqu'ici retardé l'application à la solution des nombreux problèmes de l'industrie où il semble cependant indiqué surtout à cause de ses propriétés oxydantes.

RECHERCHES SUR LES RELATIONS QUI EXISTENT
ENTRE L'OXYDE DE CARBONE ET
L'ACIDE FORMIQUE.

PAR M. MARCELLIN BERTHELOT, 1856.

Annales de Chimie et de Physique, Troisième Série, Vol. 46.

ÉTUDE DE LA DÉCOMPOSITION DE L'ACIDE OXALIQUE A 100°
SOUS DIVERSES INFLUENCES.

L'espérance d'unir directement l'oxyde de carbone naissant avec les éléments de l'eau, et d'obtenir ainsi facilement et en abondance de l'acide formique, m'a conduit à étudier la décomposition de l'acide oxalique à 100° sous diverses influences. J'exposerai en quelques lignes les résultats de cette étude.

1. L'acide oxalique pur, chauffé à 100° pendant longtemps, éprouve un commencement de décomposition: au bout de vingt heures, 3 à 4 pour cent du poids de l'acide se sont changés en acide carbonique et en oxyde de carbone; les volumes de ces deux gaz sont sensiblement égaux. Si l'acide oxalique est dissous dans l'eau ou dans l'alcool, il ne subit aucune décomposition.

Le quadroxalate de potasse éprouve également, à 100 degrés, une décomposition extrêmement lente; mais aucun autre oxalate neutre ou acide ne m'a offert, à 100 degrés, d'indice de décomposition, sauf l'oxalate d'argent, lequel fournit de l'acide carbonique pur.

2. Divers corps activent, à 100 degrés, la décomposition spontanée de l'acide oxalique: on sait combien est efficace à cet égard l'acide sulfurique concentré; l'acide étendu de 10 parties d'eau accélère très notablement la décomposition de l'acide oxalique à 100 degrés; il suffit même d'ajouter à la solution aqueuse d'acide oxalique, saturée à froid, quelques gouttes d'acide sulfurique, et de chauffer la liqueur au bain-marie pour obtenir un peu d'acide carbonique et d'oxyde de carbone. Ce phénomène est d'autant plus remarquable que la solution aqueuse concentrée d'acide oxalique est parfaitement stable à 100 degrés, comme je l'ai dit plus haut.

NOUVEAU PROCÉDÉ POUR PRÉPARER L'ACIDE FORMIQUE.

1. On sait combien sont pénibles les procédés actuellement suivis pour préparer l'acide formique, le plus simple de tous les acides organiques. On l'obtient d'ordinaire en traitant le sucre ou l'amidon par un mélange d'acide sulfurique et de bioxyde de manganèse. Ce procédé est d'une grande importance historique, car il a permis de préparer l'acide formique sans l'extraire des fourmis, comme on l'avait fait d'abord; mais il n'est pas exempt d'inconvénients. En effet, dans la réaction qui vient d'être rappelée se développe avec boursoufflement une très grande quantité de gaz, d'où résulte la nécessité de vases d'une capacité énorme, dont la rupture ou la corrosion est fréquente. De plus, l'acide obtenu est mélangé avec diverses autres substances, tant acides que neutres, produites simultanément, ce qui oblige à purifier l'acide formique en le changeant en formiate de plomb et faisant cristalliser ce corps à plusieurs reprises.¹ Ces difficultés ont été observées par tous les chimistes et se sont sans doute opposées plus d'une fois à la préparation de grandes quantités d'acide formique et à son emploi dans les réactions.

2. Voici comment je prépare cet acide avec facilité au moyen de l'acide oxalique et de la glycérine.

Dans une cornue de deux litres ou plus, j'introduis 1 kilogramme d'acide oxalique du commerce, 1 kilogramme de glycérine sirupeuse et 100 à 200 grammes d'eau; j'adapte un récipient, et je chauffe très doucement la cornue. La température ne doit guère dépasser 100 degrés. Bientôt une vive effervescence se déclare, et il se dégage de l'acide carbonique pur. Au bout de douze à quinze heures environ, tout l'acide oxalique est décomposé, la moitié de son carbone et de son oxygène s'est dégagé sous forme de gaz acide carbonique; une petite quantité d'eau chargée d'acide formique a distillé, et il reste dans la cornue la glycérine tenant en dissolution presque tout l'acide formique.

On verse dans la cornue un demi-litre d'eau et on distille; on remplace à mesure l'eau qui distille, et on continue l'opération jusqu'à ce que l'on ait recueilli 6 à 7 litres de liquide. A ce

¹ à plusieurs reprises = repeatedly.

moment presque tout l'acide formique s'est volatilisé avec l'eau, et la glycérine reste seule dans la cornue; elle peut servir à décomposer un second kilogramme d'acide oxalique, puis un troisième, etc.

3 kilogrammes d'acide oxalique du commerce ont fourni, par ce procédé, 1k,05 d'acide formique.

D'après la formule



3 kilogrammes d'acide oxalique doivent fournir 1k,09 d'acide formique.

La différence entre le résultat obtenu et le résultat calculé est aussi faible que possible; elle s'explique d'ailleurs par les impuretés que renferme l'acide oxalique du commerce. 100 parties de l'acide employé laissent un résidu fixe de 2,7 parties.

3. Voici le détail de la préparation qui précède :

Acide oxalique.....	1 kilogramme;
Glycérine	1 kilogramme.

On a opéré comme il vient d'être dit, et obtenu :

1°. 2 litres de liquide distillé renfermant acide formique.....	146 gr.
2°. 5,5 de liquide distillé renfermant acide formique.....	176 gr.

322 gr.

La glycérine retenait encore de l'acide formique. On a ajouté dans la cornue un second kilogramme d'acide oxalique; on a obtenu :

3°. 1 litre de liquide distillé renfermant acide formique.....	70 gr.
4°. 4 litres de liquide distillé renfermant acide formique.....	250 gr.

320 gr.

La glycérine retenait encore de l'acide formique. On a ajouté dans la cornue un troisième kilogramme d'acide oxalique; on a obtenu :

5°. 2 litres de liquide distillé renfermant acide formique.....	180 gr.
6°. 4, 5 de liquide distillé renfermant acide formique.....	229 gr.

409 gr.

En résumé, 3 kilogrammes d'acide oxalique ont fourni 1k,051 d'acide formique.

Cette préparation est tellement régulière qu'elle peut être exécutée sans embarras sur des quantités quelconques d'acide oxalique; elle n'exige d'ailleurs presque aucune surveillance.

4. Le seul point essentiel, c'est de ne pas brusquer la décomposition de l'acide oxalique par la glycérine. En effet, si l'on opère trop brusquement, si la température du mélange s'élève à un trop haut degré, le dégagement de l'acide carbonique s'accélère d'abord; mais, dès qu'il a cessé, la température de la masse atteint bientôt 190 à 200 degrés, et un nouveau dégagement gazeux se produit; c'est de l'oxyde de carbone pur. Le liquide distillé pendant toute la durée de l'opération ainsi conduite ne renferme pas le dixième de l'acide formique que l'on peut obtenir en opérant comme je l'ai dit plus haut.

Ce nouveau phénomène, dégagement d'oxyde de carbone, est dû à la décomposition vers 200 degrés, de l'acide formique retenu en dissolution par la glycérine. En effet, l'acide formique pur, chauffé entre 200 et 250 degrés pendant quelques heures dans des tubes scellés, se décompose en majeure partie en eau et en oxyde de carbone; la glycérine n'exerce presque aucune influence accélératrice sur cette décomposition.

Ces observations peuvent être utilisées dans la préparation de l'oxyde de carbone par l'acide oxalique. Si l'on chauffe l'acide oxalique mélangé, non avec l'acide sulfurique, mais avec la glycérine, on obtient successivement et séparément les deux gaz que l'acide sulfurique fournit mélangés à volumes égaux, d'abord l'acide carbonique, puis l'oxyde de carbone. Ce dernier corps peut donc être ainsi préparé pur, sans lavages alcalins et du premier coup.

5. Quoi qu'il en soit,¹ un intervalle considérable de température sépare ces deux phénomènes successifs: décomposition à 100 degrés de l'acide oxalique en acide carbonique et acide formique au contact de la glycérine, puis décomposition ultérieure à 200 degrés de l'acide formique en eau et oxyde de carbone. Rien de plus facile que de maîtriser la réaction et d'obtenir par des additions d'eau graduelles la totalité de l'acide formique que peut

¹quoi qu'il en soit = however it may be.

fournir l'acide oxalique. C'est ce que prouvent les nombres cités plus haut.

L'acide formique ainsi préparé est très pur et complètement exempt d'acide oxalique. Saturé par les carbonates de chaux, de baryte, de cuivre ou de plomb, il fournit dès la première cristallisation, des formiates purs de chaux, de baryte, de cuivre ou de plomb. 500 grammes d'acide oxalique cristallisé ont produit environ 500 grammes de formiate de plomb pur.

On remarquera que la glycérine se retrouve intégralement dans la cornue à la fin de chaque opération, exactement comme l'acide sulfurique dans la préparation de l'éther.

DES NITRILES DES ACIDES GRAS.

PAR ARM. GAUTIER, 1869.

Annales de Chimie et de Physique, Quatrième Série, Vol. 17, p. 103.

On a jusqu'ici donné le nom de nitriles à une classe de composés azotés, qui diffèrent des sels d'ammoniaque par perte de deux molécules d'eau.

La découverte de ces corps remonte en réalité à¹ celle de l'acide cyanhydrique, véritable nitrile, comme nous le verrons, et par son mode de génération au moyen du formiate d'ammoniaque et par toutes ses propriétés. Ce corps, qui paraît avoir été connu dès longtemps, a été en réalité découvert par Scheele, en 1780. Il fut ensuite étudié par Berthollet, qui prouva qu'il ne contient pas d'oxygène, ainsi que par Proust et Itner; mais c'est Gay-Lussac qui, en 1811, l'obtint le premier anhydre, donna sa composition et en fit connaître les propriétés.

En 1834, Pelouze, en distillant le cyanure de potassium avec le sulfovinat de potasse, découvrit le cyanure d'éthyle et la méthode qui servit à obtenir ses homologues. Il avait déjà observé, en 1821, que le formiate d'ammonium chauffé à 200 degrés se transforme en eau et acide cyanhydrique, et Fehling, en 1844, sans reconnaître l'importance de son observation, en distillant le benzoate d'ammoniaque obtint le benzonitrile par déshydratation.

¹ remonte à = goes back to.

Ces trois derniers faits, restés jusque-là sans liaison, acquirent en 1847, par les travaux de M. Dumas, une importance de premier ordre. Généralisant ses observations sur la distillation de l'oxalate d'ammoniaque, cet illustre chimiste prouva que, par leur déshydratation, les sels ammoniacaux donnent naissance à deux classes de corps : les amides, qui en dérivent par perte de 1 molécule (2 équivalents) d'eau, et les nitriles, qui en dérivent par perte de 2 molécules d'eau. Après avoir ainsi défini et généralisé la production de ces deux classes de composés, il démontra avec MM. Malagutti et F. Leblanc, que ces derniers sont identiques avec les éthers cyanhydriques produits par la méthode de Pelouze.

Telle est l'origine de la découverte des nitriles : ils furent ensuite le sujet de nombreux travaux. MM. Dumas, Malagutti et Leblanc prouvèrent que, par leur hydratation, ils régénèrent les sels ammoniacaux primitifs et qu'ils donnent par l'action de la potasse l'acide gras, supérieur de 1 atome de carbone au nombre des atomes de cet élément existant dans le radical alcoolique qui entre dans leur constitution. A la suite, MM. Frankland et Kolbe, cherchant à obtenir les radicaux alcooliques à l'état de liberté, découvrirent, en traitant les cyanures alcooliques par le potassium, le premier des polymères de ces corps, la cyanéthine $(C_2H_5Az)_3$, et Cloez trouva la cyanéthine $(C_2H_5Az)_2$. De nombreux chimistes développèrent l'histoire des nitriles. Je citerai Frohle, Henke, Hesse, qui décrivirent quelques combinaisons doubles ; H. Kopp, qui en étudia les propriétés physiques ; Balard, Frankland et Kolbe, Brazier et Gouleth, enfin Würtz, qui s'occupèrent du cyanure d'amyle ; Erlenmeyer, du cyanure de propyle ; Morkownikoff de celui d'isopropyle ; Otto qui chercha les produits de l'action du chlore sur ces corps ; Buckton et W. Hofmann, qui les soumirent à l'action de l'acide sulfurique fumant et obtinrent des acides conjugués ; Engler, qui les combina au brome ; enfin, en 1862, Mendius, qui les transforma en amines par addition de H_2 .

Dans la série de l'allyle, Lieke, en 1859, et ensuite Claus, en 1854, avaient obtenu chacun un cyanure d'allyle différent sans reconnaître l'importance de ce fait.

Nous n'avons pas à parler ici des nitriles aromatiques.

De ces nombreux travaux était résulté un ensemble étendu de connaissances,¹ qui avaient laissé subsister cette notion primitive que les nitriles sont les cyanures des radicaux alcooliques, les éthers cyanhydriques, et l'on tâchait de faire plus ou moins rationnellement cadrer² les diverses propriétés de ces corps avec cette hypothèse, lorsque je trouvai, en 1865, que l'acide cyanhydrique est apte à former, avec les hydracides, des combinaisons comparables à de véritables sels ammoniacaux, où le groupe triatomique $(\text{CH})'''$ remplacerait les trois atomes d'hydrogène de l'ammoniaque. Naturellement amené à vérifier cette conception pour les éthers dits cyanhydriques, j'observai que ces corps se comportent comme le formonitrile, et que leur constitution est toujours celle de l'ammoniaque AzH_3 , où les trois atomes d'hydrogène sont remplacés par les radicaux homologues $(\text{CH})'''$, $(\text{C}_2\text{H}_5)'''$, $(\text{C}_3\text{H}_7)'''$; j'exprimai cette constitution par les formules $\text{Az}(\text{CH})'''$, $\text{Az}(\text{C}_2\text{H}_5)'''$, $\text{Az}(\text{C}_3\text{H}_7)'''$. En poursuivant ces recherches sur les nitriles connus, voulant me les procurer à l'état de pureté parfaite, j'essayai l'action des iodures alcooliques sur le cyanure d'argent, déjà tentée par E. Meyer et par Schlagdenhaufen, et cette réaction m'amena à la découverte des isomères des nitriles connus, les carbylamines, qui forment la seconde partie de ce travail.

C'est le résultat de mes recherches, faites en entier³ au laboratoire de M. Würtz, et déjà partiellement publiées en divers lieux, que je donne ici dans leur ensemble.⁴

CLASSIFICATION DES NITRILES.

Partant de l'idée de M. Dumas, sur la génération des nitriles et la généralisant, remarquons tout d'abord que les nitriles étant des corps qui diffèrent des sels d'ammoniaque ou d'amines, par deux molécules d'eau en moins, il est possible d'obtenir des corps de même composition appartenant à cette classe, mais dérivant

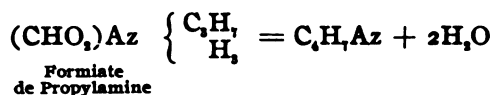
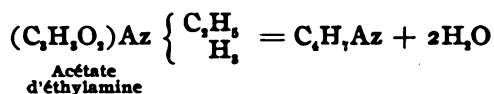
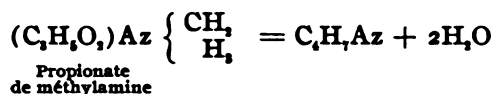
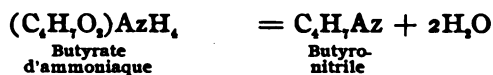
¹ un ensemble étendu de connaissances = large collection of facts.

² cadrer = to fit in.

³ en entier = entirely.

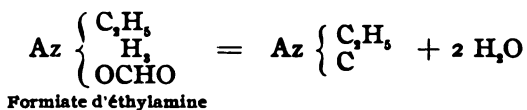
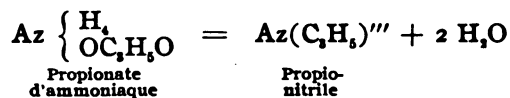
⁴ dans leur ensemble = as a whole.

par déshydratation de divers composés. Que l'on se propose, par exemple, d'arriver¹ au nitrile C_4H_7Az , on comprendra que l'on puisse, pour l'obtenir, réaliser les quatre équations suivantes :



On voit donc qu'on pourra toujours arriver à un nitrile contenant n atomes de carbone, par la déshydratation de n sels différents, et l'on peut se demander si ces n nitriles seront isomères ou identiques.

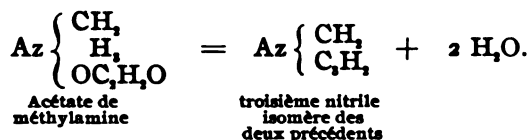
Quoiqu'on ne puisse répondre complètement encore à cette question, on peut considérer dès aujourd'hui cette isomérisie comme extrêmement probable; en effet, si, prenant du propionate d'ammoniaque et du formiate d'éthylamine, on leur enlève à chacun 2 molécules d'eau, on aura les deux équations suivantes, où nous développons partiellement les formules



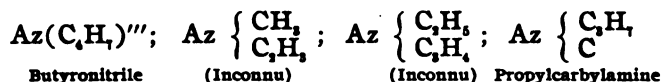
Or l'expérience a prouvé que telle est bien la constitution de ces deux nitriles et qu'ils sont bien isomères; d'où il semble suivre

¹ Que l'on se propose d'arriver = Suppose one wants to obtain.

que l'on devra plus tard obtenir un troisième isomère d'après l'équation



On comprend de même que le nitrile $\text{C}_4\text{H}_7\text{Az}$, produit par les quatre moyens indiqués plus haut, doit subir les quatre isoméries :



La première classe, celle des nitriles proprement dits, anciennement connus, où un radical triatomique renfermant tout le carbone est uni à l'azote, et la dernière, celle des carbylamines, où l'azote est saturé séparément par l'atome de carbone et par un radical alcoolique monoatomique, sont celles que nous avons particulièrement étudiées. Il n'a été fait qu'un petit nombre d'expériences pour arriver à obtenir les corps où l'azote est saturé, partie par un radical monoatomique, partie par un radical diatomique tel que C_2H_2 , C_2H_4 . . . : elles seront rapportées en leur lieu.¹

Nous diviserons donc naturellement ce travail en deux parties :

I. Nitriles proprement dits, ou anciens éthers cyanhydriques.

II. Carbylamines.

Les corps qui composent chacune de ces deux classes se distinguent de ceux de l'autre par un ensemble de propriétés que nous donnerons plus loin.

Les nitriles proprement dits sont des corps analogues à l'ammoniaque, doués de fonctions basiques faibles,² dérivant des sels ammoniacaux à acides gras par perte de deux molécules d'eau et reproduisant ce sel par leur hydratation.

¹ elles seront rapportées en leur lieu = they will be described in their proper place.

² doués de fonctions basiques faibles = with weak basic properties.

Les carbylamines appartiennent aussi au type ammoniacque: elles se combinent violemment aux acides et dérivent du formiate d'une amine à radical alcoolique, ou tout au moins¹ sont aptes à reproduire ce formiate, en s'unissant à 2 molécules d'eau.

DE L'ACÉTONITRILE.

L'acétonitrile préparé par la méthode de Pelouze, c'est-à-dire par la distillation sèche des sulfométhylates alcalins avec le cyanure de potassium, même après l'avoir privé de l'acide cyanhydrique, du formiate d'ammoniaque et de l'alcool méthylique libre qu'il contient, est encore un liquide complexe, sans point d'ébullition constant (70 à 85 degrés), se combinant partiellement à l'acide bromhydrique, etc. Au contraire, l'acétonitrile obtenu par la déshydratation de l'acétamide, convenablement purifié, comme nous l'indiquerons tout à l'heure, bout presque en entier à 82 degrés. En présence de l'isomérisation des anciens cyanures avec les carbylamines que nous venions de découvrir, il était nécessaire de se demander si les nitriles obtenus par la déshydratation des amides et ceux que l'on obtient par la méthode de Pelouze étaient bien réellement identiques. Cette identité, affirmée par MM. Dumas, Malagutti et Leblanc, lors de leurs études sur la déshydratation des sels ammoniacaux, confirmée par MM. Kolbe et Frankland, avait été depuis mise en question,² notamment en Allemagne, et en tout cas³ pouvait laisser encore quelques doutes, car on n'avait pas eu affaire à des produits parfaitement purs.

J'ai donc dû tout d'abord m'enquérir⁴ d'une identité qui pouvait laisser subsister encore quelques soupçons, et chercher des méthodes qui me permissent d'obtenir parfaitement purs les corps que je voulais soumettre à d'autres recherches.

PRÉPARATION DE L'ACÉTONITRILE PUR.

Préparation par la Méthode de Pelouze.—On distille au bain d'huile en élevant graduellement la température jusqu'à 300 de-

¹ ou tout au moins = or at least.

² avait été depuis mise en question = had since then been questioned.

³ en tout cas = at any rate.

⁴ J'ai dû tout d'abord m'enquérir = First of all I had to find.

grés, et, par parties de 250 à 300 grammes, un mélange à poids égaux de sulfométhylate de potasse pur avec du cyanure de potassium pur; les deux sels doivent être bien secs. Le produit de la distillation est un liquide miscible à l'eau, jaunâtre, d'odeur alliée¹ désagréable, mélange complexe d'eau, de cyanure de méthyle, de méthylcarbylamine, de cyanure et de carbonate d'ammonium, de formiate de méthylamine, d'alcool méthylique, d'acide cyanhydrique, de produits sulfurés, etc. On sature d'abord ce liquide alcalin par l'acide sulfurique étendu, qui détruit le cyanure d'ammonium et fixe la carbylamine, puis on l'agite longtemps avec un peu d'eau et d'oxyde rouge de mercure, qui enlève la majeure partie de l'acide cyanhydrique et de l'acide formique. On distille et l'on obtient une liqueur d'odeur agréable, que l'on additionne d'une bonne quantité d'une solution un peu concentrée de chlorure de calcium, qui s'unit à la plus grande partie de l'alcool resté libre; on sépare du chlorure de calcium un liquide qui surnage et que l'on rectifie. Il est presque en entier composé alors de cyanure de méthyle et d'une petite quantité d'alcool.

Ce liquide, presque insoluble dans l'eau, bout de 75 à 83 degrés, mais la majeure partie passe vers 81 degrés, quoique tous les auteurs donnent jusqu'ici 77 degrés comme température d'ébullition du cyanure de méthyle.

Le liquide bouillant de 81 degrés à 82°,5 a donné à l'analyse les résultats suivants:

	Expériences		Théorie Pour C_2H_5Az .
	I	II	
C	58,37	58,29	58,51
H	7,42	7,45	7,32
Az	33,63	—	34,14

Ces nombres prouvent que le composé bouillant de 81 degrés à 82°,5 est en majeure partie de l'acétonitrile, mais encore mélangé d'un peu d'alcool méthylique. En effet, en analysant le produit qui passe de 77 à 79 degrés, on a trouvé les nombres suivants:

C	58,25
H	7,40
Az	33,26

¹ d'odeur alliée = with a garlic odor.

qui tendent de plus en plus vers ceux que donnerait le mélange dont nous parlons.

Préparation de l'Acétonitrile par la Déshydratation de l'Acétamide.—Sur 300 grammes d'acide phosphorique anhydre, porté¹ dans un ballon au bain de sable à 280 ou 300 degrés,¹ on fait tomber goutte à goutte, par un tube de sûreté de large diamètre, un poids égal d'acétamide préalablement fondue. Le produit distillé est saturé par du carbonate de potasse, lavé à l'eau, séché et soumis à la rectification. Il ne passe rien au-dessous de 80 degrés, et la majeure partie bout d'une manière presque constante à 82 degrés (corrigé). Voici les résultats de l'analyse de ce liquide:

	Expériences		Théorie Pour C_2H_3Az .
	I	II	
C	58,66	58,62	58,54
H	7,39	7,42	7,32
Az	34,37	—	34,14

Ces analyses prouvent la pureté absolue du produit, et il ne peut rester de doute que son point d'ébullition, fixé jusqu'ici à 77 degrés, ne doive être porté à 82 degrés.

Qu'on l'obtienne² donc par l'une ou l'autre de ces deux méthodes, l'acétonitrile a le même point d'ébullition. J'ajoute que toutes les réactions auxquelles j'ai soumis les deux corps démontrent qu'ils sont identiques: traités par la potasse, l'un et l'autre donnent l'acétate; par l'acide chlorhydrique gazeux, l'un et l'autre donnent une combinaison difficilement cristallisable, et que l'eau décompose de même; l'un et l'autre donnent un sesquibromhydrate; avec le brome, l'un et l'autre donnent le même bromure.

Cette identité démontrée et la pureté du produit obtenue, les expériences s'établissent sur un terrain solide et connu.

Propriétés.—Les propriétés de l'acétonitrile que j'ai déterminées, ou que j'ai eu à modifier, sont les suivantes:

Liquide incolore, d'odeur agréable, éthérée, rappelant légère-

¹ porté à 300 degrés = heated to 300°.

² Qu'on l'obtienne = whether one obtains it.

ment l'amande amère, et produisant la migraine.¹ Il bout à 82 degrés. Il est peu miscible à l'eau, quand il est exempt d'alcool méthylique. Il se solidifie en un corps cristallin blanc opaque dans un mélange d'acide carbonique solide et d'éther. Ces cristaux fondent à -41 degrés.

Densité à $+4$ degrés: 0,8018. La densité de la méthylcarbylamine isomère est de 0,7557.

Densité de vapeur expérimentale: 1,448; théorique: 1,419. (Méthode de Gay-Lussac à 100 degrés.)

J'ai eu l'occasion de prendre les indices de réfraction de l'acétonitrile pur pour les trois raies α (rouge), β (verte) et γ (violette) de l'hydrogène. J'ai trouvé à $19^{\circ},5$ les nombres suivants:

$$n_{\alpha} = 1,34267$$

$$n_{\beta} = 1,34847$$

$$n_{\gamma} = 1,35202$$

Voici les nombres de l'expérience qui m'ont servi à déterminer ces indices:

$$2\Delta_{\alpha} = 48^{\circ}42'$$

$$2\Delta_{\beta} = 49^{\circ}36'$$

$$2\Delta_{\gamma} = 50^{\circ}9'$$

$$A = 60^{\circ}1'$$

Les lettres Δ et A expriment:

Δ , l'angle de déviation minimum.

A , l'angle du prisme employé.

Comme le formonitrile, l'acétonitrile s'unit aux hydracides directement et à la température ambiante;² il s'unit aussi aux oxacides organiques pour donner des amides.

Jusqu'à un certain point ces combinaisons sont comparables à des sels, mais elles en diffèrent en ce qu'elles ne se prêtent point en général aux doubles décompositions. Comme pour les composés correspondants du formonitrile, on remarquera que la tendance à l'union de l'acétonitrile aux acides va en augmentant de l'acide chlorhydrique à l'acide iodhydrique.

¹ migraine = sick headache.

² température ambiante = room temperature.

MÉTHYLCARBYLAMINE.

Préparation.—On chauffe en vase clos pendant quelques heures à 120 degrés un mélange de deux molécules de cyanure d'argent avec 1 molécule d'iodure de méthyle. Le sel double s'étant produit (ce qui se reconnaît à ce que la masse devient compacte, gris-jaunâtre et molle à chaud, sans toutefois acquérir encore la teinte brune, qui est le signe qu'on a chauffé trop longtemps et que le produit s'est altéré, on broie le tout, et on place la poudre dans un matras avec les deux tiers de son poids de cyanure de potassium et le même poids d'eau. Le cyanure alcalin réagit alors sur le sel double (CAzCH_3 , CAgAz) qui s'était formé, s'unit avec échauffement au cyanure d'argent et met la méthylcarbylamine en liberté; elle vient bientôt surnager; en distillant le tout au bain d'eau salée, on l'obtient presque pure et, quand on a bien opéré, en quantité à peu près théorique (108 grammes au lieu de 116).

Pour la purifier, on la lave à l'eau froide salée, qui en dissout une faible quantité, mais en même temps sépare un peu de méthylamine et quelques produits d'une odeur des plus pénibles; on la dessèche sur la chaux, et on la rectifie; on s'aperçoit alors qu'elle est presque pure, car son point d'ébullition ne varie guère qu'entre 58 et 59 degrés.

On peut aussi, pour obtenir le double sel CAzCH_3 , CAgAz opérer en vase ouvert en faisant réagir l'iodure de méthyle sur le cyanure d'argent placé dans un ballon muni d'un réfrigérant de Liebig; la réaction des deux sels ne commence à 100 degrés qu'au bout d'un certain temps; il faut, dans ce nouveau cas, pour 100 parties de cyanure d'argent, ajouter 68 parties d'iodure de méthyle.

Le liquide bouillant de 58°,5 à 59°,5 a été analysé et a donné les résultats suivants:

	Expérience	Théorie pour CAzCH_3
C	58,32	58,51
H	7,39	7,32
Az	33,85	34,14

C'est bien la composition qui répond à la formule $\text{C}_2\text{H}_3\text{Az}$.

Propriétés.—La méthylcarbylamine est un liquide incolore, mobile, qui, porté dans un mélange d'acide carbonique solide et d'éther, se concrète¹ en un corps solide blanc, opaque, dont le point de fusion a été trouvé de -45 degrés, en opérant comme il a été dit pour l'acétonitrile. Quand elle est pure, son odeur est agréable et rappelle bien celle de l'acétonitrile, puis ses vapeurs arrivant à l'arrière-gorge y font ressentir une insupportable amertume;² très diluées dans l'air, ces vapeurs rappellent fortement les odeurs phosphorées et l'ozone, peut-être parce qu'elles s'oxydent. Quand le corps est impur, cette odeur est des plus pénibles et des plus envahissantes, elle excite les nausées. Sa saveur amère est des plus désagréables. L'eau à laquelle elle surnage la dissout en partie. Il est remarquable que certaines solutions salines, tels que les sels neutres d'ammoniaque et de magnésie, la dissolvent en beaucoup plus grande quantité que l'eau pure. Elle se sépare de ces solutions par la chaleur. Elle bout à $59^{\circ},6$ sous la pression de 760 millimètres.

La densité de la méthylcarbylamine à l'état liquide a été trouvée, à 4 degrés, de 0,7557; la densité que j'ai trouvée pour l'acétonitrile isomère est de 0,8018 à la même température.

Densité de vapeur: expérimentale, 1,444; densité théorique calculée: 1,42 pour $C_2H_5Az = 2$ vol.

La méthylcarbylamine est parfaitement neutre aux réactifs colorés. Elle brûle avec une flamme bleue bordée de vert.

Action de l'Eau.—On a dit que la méthylcarbylamine se dissolvait dans l'eau en petite proportion: cette solution peut se conserver assez longtemps sans que la carbylamine s'altère. L'action de l'eau est peu sensible à 100 degrés; mais si l'on porte les deux corps à 180 degrés en tube scellé, la couche de carbylamine disparaît peu à peu, et l'ensemble subit une notable contraction. Au bout de huit à dix heures si l'on ouvre les tubes on peut s'assurer qu'il ne s'est formé aucun gaz et que la carbylamine a complètement disparu. Ce liquide a alors été traité par un excès de potasse caustique; on a recueilli dans une solution chlorhydrique les gaz alcalins qui se dégagent quand on chauffe, enfin

¹ se concrète = solidifies.

² amertume = bitterness, bitter feeling.

on a évaporé cette solution. Le chlorhydrate ainsi obtenu se dissolvait entièrement dans l'alcool absolu bouillant, et recristallisait par refroidissement en lamelles irrisées.¹ Nous avons fait l'analyse des premières portions cristallisées et des dernières et trouvé:

	Expérience		Théorie pour [Az { $\begin{smallmatrix} \text{CH}_3 \\ \text{H}_2 \end{smallmatrix} \text{HCl} \}]_2, \text{PtCl}_4$
	Premières portions cristallisées	Dernières portions cristallisées	
C	4,89	—	5,07
H	2,82	—	2,53
Pt	41,55	41,24	41,56

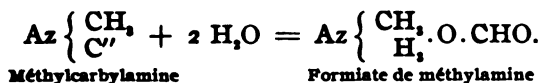
Ce corps était donc en entier du chloroplatinate de méthylamine.

Le résidu d'où les bases avaient été chassées par la potasse a été évaporé au bain-marie, après l'avoir saturé exactement par de l'acide sulfurique. On l'a repris² alors par de l'alcool à 90 degrés bouillant, qui n'a dissous qu'une faible quantité de sels, mais ce traitement devait séparer l'acétate de potasse, s'il y en existe, de la masse des sels et du formiate qui est peu soluble dans l'alcool. Ce liquide alcoolique a été évaporé et le résidu distillé avec un excès d'acide sulfurique; le produit de la distillation a été mis à bouillir avec de l'oxyde de mercure pour détruire le formiate, traité par l'hydrogène sulfuré, soumis à une légère ébullition, filtré et saturé par de l'oxyde d'argent humide. Une quantité insignifiante s'en est dissoute, et on a pu s'assurer qu'il ne se formait pas d'acétate d'argent, et par conséquent que, par son hydratation, la méthylcarbylamine ne donnait pas d'acide acétique comme le fait son isomère l'acétonitrile. En reprenant la partie du sel de potasse primitif, insoluble dans l'alcool, j'ai constaté qu'il n'y existait que du formiate et du sulfate de potasse. Nous avons décrit cette expérience avec quelques détails, car elle est fondamentale, non seulement pour démontrer l'isomérisie de la méthylcarbylamine et, comme on le verra, des autres carbylamines, avec les nitriles proprement dits correspondants, mais aussi pour faire voir que ni la chaleur ni l'eau ne paraissent leur faire subir, au moins dans ces conditions, de changements isomériques.

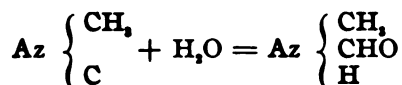
¹ irrisée = radiating.

² on l'a repris = it was taken up.

La réaction de l'eau se passe donc très nettement d'après l'équation suivante :



Toutefois, soit que l'on agisse avec l'eau seule, soit qu'on additionne cette eau d'un peu d'acide chlorhydrique, la réaction précédente est toujours précédée d'une première phase, que l'on peut rendre évidente en n'attendant pas que la totalité de la carbylamine ait disparu ; on verra plus loin que, dans l'action de la potasse sur les chlorhydrates des carbylamines, une hydratation incomplète devient la réaction principale. La méthylcarbylamine ne passe, en effet, à l'état de formiate de méthylamine qu'en se transformant d'abord en méthylformiamide, suivant l'équation



C'est pourquoi on doit, pour obtenir une entière hydratation de la méthylcarbylamine, la faire bouillir pendant une heure avec l'eau acidulée.

Action des Alcalis Aqueux.—La potasse aqueuse n'agit sur la méthylcarbylamine que difficilement, même à 100 et 120 degrés. Il faut chauffer le mélange de ces corps à 180 degrés, et pendant le même temps qu'avec l'eau pure, pour obtenir l'hydratation : l'alcali ne semble donc pas la hâter. On voit combien son action est différente dans ce cas et dans celui de l'acétonitrile. En refroidissant le tube, on peut recueillir la base formée et en faire le chlorhydrate ; c'est bien le chlorhydrate de méthylamine d'après toutes ses propriétés et le dosage de platine de son chloroplatinate :

Expérience	Théorie
Pt 41,50 pour cent.	Pt 41,56 pour cent.

Il ne se forme qu'une trace d'ammoniaque dans cette réaction, preuve bien évidente qu'il ne se produit pas, ou qu'une trace d'acide acétique. On a repris, en effet, le résidu d'où la méthylamine avait été chassée ; on l'a évaporé, additionné d'acide phos-

phorique aqueux et distillé. Le résultat de cette distillation a été laissé sur une bonne quantité d'acide phosphorique vitreux; une couche moins dense s'est produite à la surface, on l'a séparée et distillée; elle bouillait entièrement à 100 degrés; c'était de l'acide formique monohydraté, comme on s'en est assuré par toutes ses propriétés. Par un très long temps de contact, les alcalis aqueux hydratent la méthylcarbylamine comme ils le font à 180 degrés. On n'a pas pu unir l'ammoniaque à la méthylcarbylamine en chauffant ces deux corps à 100 et 140 degrés.

Action de l'Eau en Présence des Acides.—Les acides aqueux agissent comme l'eau, mais bien plus rapidement. Une couche de carbylamine placée dans un tube à la surface de l'eau, au fond de laquelle on fait arriver une petite quantité d'une solution d'acide chlorhydrique, disparaît subitement avec une vive émission de chaleur dès qu'on vient à agiter le tube. Toutefois, lorsqu'on n'a ajouté qu'une faible quantité d'acide, la réaction n'est pas si vive et si complète qu'on ne puisse retrouver dans le liquide une partie sirupeuse, bouillant vers 190 degrés, et qui n'est autre que la méthylformiamide. En faisant bouillir le mélange et le traitant comme il est dit pour l'eau pure, on peut s'assurer que la réaction est identique.

Action des Acides Minéraux.—Les hydracides, comme les ox-acides minéraux, s'unissent avec une telle violence à la méthylcarbylamine, qu'il est presque impossible de modérer la réaction et qu'une partie du composé s'altère. Il faut, pour obtenir un produit plus satisfaisant, dissoudre la méthylcarbylamine dans l'éther anhydre et faire tomber dans sa solution une solution éthérée de l'acide ou l'acide lui-même avec la plus grande précaution. Les sels ainsi formés sont tantôt cristallisés, si l'on a réussi à modérer la réaction, tantôt liquides et sirupeux, mais cristallisables plus tard, s'il y a eu une trop grande élévation de température. Tous ces sels sont décomposables par l'eau et l'alcool, et très peu solubles dans l'éther, d'où ils se précipitent à l'état cristallisé ou huileux.

On n'a spécialement étudié que le chlorhydrate de méthylcarbylamine.

Action des Acides Organiques.—Les acides organiques agissent sur les carbylamines d'une manière tout à fait imprévue. Chose remarquable,¹ la carbylamine enlève, à une température inférieure à 100 degrés, 1 molécule d'eau aux acides les plus stables pour donner de l'acide anhydre et de l'éthyl . . . , méthylformiamide. Quoiqu'on n'ait examiné avec soin que l'action de l'acide acétique sur les deux premières carbylamines, il est très probable qu'un grand nombre d'autres acides seraient décomposés de même, car l'acide acétique est doué pour sa part d'une stabilité remarquable, et l'on sait que l'acide phosphorique lui-même ne suffit pas à lui enlever 1 molécule d'eau sans altérer son radical.

SUR LES COMBINAISONS ORGANOMAGNÉSIENNES
MIXTES ET LEUR APPLICATION A DES
SYNTHÈSES D'ACIDES, D'ALCOOLS
ET D'HYDROCARBURES.

PAR M. V. GRIGNARD.

(Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy)

Annales de Chimie et de Physique, Septième Série, Vol. 24, p. 433.

De toutes les combinaisons organométalliques actuellement connues, les seules qui aient pu servir jusqu'ici de bases² à des méthodes de synthèse sont celles du sodium, du mercure et surtout celles du zinc. Encore les deux premiers groupes n'ont-ils pu être utilisés que dans un petit nombre de cas et sans conduire à des méthodes susceptibles d'une grande généralisation. Il n'en est plus de même pour les combinaisons organozinciques qui, depuis les belles recherches de Frankland, ont constitué pendant près d'un demi-siècle, entre les mains des chimistes, un merveilleux instrument de synthèse. Il suffit, pour en témoigner,³ de rappeler les noms de Wurtz, de Frankland et Duppa, de Freund, de Boutlerow, de Reformatsky, de Wagner et de Saytzeff qui, dans cet ordre d'idées, sont restés attachés à des méthodes classiques.

¹ chose remarquable = strange to say.

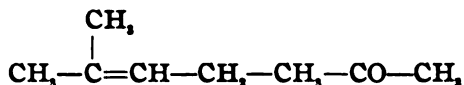
² les seules qui aient pu servir de bases = the only ones which it has been possible to use as a basis.

³ pour en témoigner = to prove it.

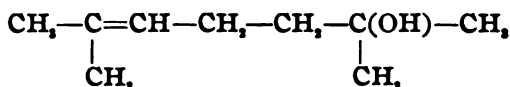
Mais quelle que soit¹ l'importance des résultats acquis, ces méthodes ne laissent pas cependant de donner prise² à des critiques assez sérieuses. On peut dire, en effet, d'une façon générale, que, lorsqu'on peut éviter la préparation préalable des composés organozinciques, les rendements sont médiocres, sinon dérisoires (exception faite toutefois pour l'application de la méthode de Saytzeff avec l'iodure ou le bromure d'allyle); dans les autres cas où cette préparation est nécessaire, elle entraîne,³ comme on sait, une manipulation assez longue, difficile et même dangereuse, en raison de la facilité avec laquelle s'enflamment les composés organozinciques.

Aussi était-il du plus grand intérêt de remplacer ces composés par d'autres, faciles à préparer directement, plus maniables et présentant des aptitudes réactionnelles au moins égales. Mais les nombreuses recherches entreprises sur les combinaisons organiques des différents métaux n'avaient fourni aucune indication dans ce sens, et le zinc semblait devoir rester sans partage le métal par excellence des synthèses au moyen de combinaisons organo-métalliques.

En 1898, M. Ph. Barbier, employant la méthode de Saytzeff, fit réagir sur la méthylhepténone naturelle



l'iodure de méthyle en présence du magnésium. Il obtint un alcool tertiaire, le diméthyl-2-6 heptène-2 ol-6



d'après le processus habituel de la méthode employée. Seulement, il y avait là un fait nouveau. En effet, d'une part, les combinaisons organozinciques, en réagissant sur les cétones, ne donnent pas d'alcools tertiaires, et d'autre part, la méthode de Saytzeff ne s'applique pas aux cétones en $-\text{CO}-\text{CH}_3$, qui se condensent

¹ quelle que soit = whatever may be.

² ne laissent pas de donner prise à = are still the object of.

³ elle entraîne = it necessitates.

généralement avec perte d'eau; il n'y a qu'une seule exception, c'est lorsque l'éther halogéné introduit en réaction est le bromure ou l'iodure d'allyle.

Il était donc particulièrement intéressant de rechercher dans quelle mesure cette réaction pouvait être généralisée; d'étudier, en un mot, quels avantages pouvaient présenter la substitution du magnésium au zinc, et, sur les conseils de mon maître, j'entrepris ce travail.

Je reconnus bientôt que le magnésium présentait une facilité de réaction supérieure à celle du zinc qui permettait de l'employer dans beaucoup de cas où le zinc ne réagissait pas, mais qui, par contre,¹ rendait la réaction souvent difficile à régler et déterminait presque toujours la production abondante de produits de polymérisation.

Je songeai alors à revenir à la méthode de Wagner, c'est-à-dire à préparer isolément les combinaisons organomagnésiennes. Les faits déjà connus sur ce sujet n'étaient pourtant guère encourageants.

Les études les plus récentes sur les composés organométalliques du magnésium sont celles de Lohr, de Fleck et de Waga. Elles ont montré que ces composés sont des corps solides, extrêmement altérables, réagissant avec incandescence sur l'eau et sur l'alcool, s'enflammant dans l'air et même dans le gaz carbonique secs, et insolubles dans les dissolvants neutres, sauf dans un mélange anhydre d'éther et de benzène. Mais dans ce véhicule, ils se prêtaient très mal aux réactions et ne paraissaient nullement capables de remplacer les combinaisons zinciques; d'ailleurs on ne pouvait les obtenir convenablement qu'en chauffant en tube scellé les iodures alcooliques avec l'amalgame de magnésium, ce qui limitait encore singulièrement leur emploi.

Mais autrefois, Frankland et Wanklyn avaient essayé, pour la préparation des composés organozinciques, une méthode particulière qui consiste à chauffer en vase clos le zinc et l'iodure alcoolique en présence d'éther anhydre. Ils obtinrent en solution dans l'éther les composés



¹ par contre = on the other hand.

qui présentent très sensiblement les propriétés habituelles de



mais malheureusement cette réaction était incomplète et il restait une masse solide abondante qu'il fallait distiller¹, comme dans les procédés ordinaires, pour achever la séparation du corps organométallique.

Avec un métal tel que le magnésium, plus électropositif que le zinc et d'affinités plus vives, on pouvait s'attendre à ce que la réaction précédente se fit² plus aisément et plus complètement. C'est, en effet, ce qu'a montré l'expérience, puisque j'ai constaté qu'en présence d'éther anhydre le magnésium attaque l'iodure de méthyle à la température ordinaire et que cette réaction, qui est totale, conduit uniquement à un produit soluble dans l'éther.

J'ai été ainsi amené à préparer un certain nombre de nouvelles combinaisons organomagnésiennes que le présent Mémoire a pour but de faire connaître, ainsi que quelques-unes de leurs applications.

COMBINAISONS ORGANOMAGNÉSIENNES MIXTES.

Préparation.—Supposons, par exemple, que nous voulions faire réagir l'iodure de méthyle sur le magnésium. L'appareil, très simple, se compose d'un ballon d'environ 1 litre de capacité, surmonté d'un bouchon percé de deux trous qui portent, le premier un tube à brome, et le second, un tube permettant de le relier à un bon réfrigérant ascendant.

Tout le système étant bien sec, on met dans le ballon un atome (24 gr.) de magnésium en tournure et on l'adapte au reste de l'appareil. (La tournure de magnésium que j'emploie de préférence a 3 mm. de largeur et 0, mm. 6. d'épaisseur. Tourné sous ces dimensions, le métal ne donne pas un ruban, mais se déchire sous l'outil en copeaux très déchiquetés et présentant par suite une grande surface. D'autre part, on a fait un mélange à volumes égaux d'une molécule de l'éther parfaitement anhydre et d'iodure

¹ qu'il fallait distiller = which had to be distilled.

² s'attendre à ce que la réaction se fit = expect the reaction to take place.

de méthyle; on en fait tomber au moyen du tube à brome 40 à 50 cc. sur le magnésium. Presque immédiatement on voit apparaître en différents points, autour du magnésium, un louche brunâtre (blanc dans le cas des éthers bromhydriques) accompagné d'une très faible effervescence. Puis la réaction s'étend rapidement, des flocons blancs apparaissent et tout le liquide entre en vive ébullition. On fait alors tomber en deux ou trois fois 250 à 300 gr. d'éther anhydre et l'on refroidit en même temps le ballon, s'il y a lieu,¹ par un courant d'eau froide. L'ébullition se calme, les flocons blancs augmentent encore pendant un instant, puis disparaissent presque instantanément, la liqueur redevient parfaitement limpide et la réaction reprend avec une énergie nouvelle. Il n'y a plus qu'à l'entretenir en faisant tomber goutte à goutte le reste du mélange réactionnel; dans ces conditions, la dissolution du magnésium se poursuit régulièrement et il en disparaît très exactement un atome par molécule d'iodure de méthyle introduite. Pour parachever la réaction, il suffit de chauffer pendant une demi-heure au bainmarie et il ne reste plus alors dans le ballon qu'une solution très fluide et à peu près incolore tenant en suspension une poussière noire très tenue constituée par une trace de fer qui existe comme seule impureté dans le magnésium employé.

J'ai constaté que la même réaction se produisait, et dans les mêmes conditions sensiblement que pour l'iodure de méthyle, avec les iodures d'isopropyle, de butyle tertiaire et d'hexyle secondaire, avec les bromures d'éthyle, de propyle, d'isobutyle, d'isoamyle et de benzyle, et il est vraisemblable qu'elle doit avoir lieu² avec beaucoup d'autres éthers halogénés des alcools. Bien plus, j'ai reconnu qu'on obtenait encore les mêmes résultats avec le bromobenzène et le bromonaphtalène, ce qui semble indiquer que les éthers halogénés des phénols peuvent, d'une façon générale aussi, entrer en combinaison avec le magnésium. J'étudie actuellement cette nouvelle série de composés en collaboration avec M. Tissier; je ne m'occuperai ici que des premiers.

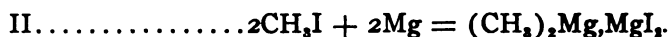
¹ s'il y a lieu = if necessary.

² il est vraisemblable qu'elle doit avoir lieu = it is probable that it must take place.

La solution étherée obtenue comme il vient d'être dit¹ s'altère à l'air humide et réagit violemment sur l'eau avec formation de magnésie; le gaz carbonique sec l'attaque en donnant un précipité cristallin; enfin elle réagit énergiquement sur les aldéhydes, les cétones, les éthers-sels, les chlorures et les anhydrides d'acides, etc. Comme la vapeur d'éther la protège suffisamment contre le retour de l'air extérieur, il est inutile d'opérer dans un gaz inerte, et l'on peut la soumettre telle quelle,² sans modifier l'appareil producteur, aux différentes réactions effectuées jusqu'à présent avec les composés organozinciques.

Mais avant d'entrer dans le détail des applications des combinaisons organomagnésiennes, une question se pose tout d'abord: c'est l'étude des propriétés les plus immédiates de ces nouveaux composés et la recherche de leur constitution.

Voyons donc en premier lieu quelles sont les formules qui permettent d'expliquer la réaction précédente entre un atome de magnésium et une molécule d'éther halogéné. Il y en a deux:



Il est évident, en effet, que dans la seconde réaction nous ne pouvons avoir $(\text{CH}_3)_2\text{Mg} + \text{MgI}_2$; les recherches de Lohr et de Fleck ont montré que le magnésium méthyle était un corps solide insoluble ou très peu soluble dans l'éther; d'autre part, l'iodure de magnésium est lui-même extrêmement peu soluble dans l'éther anhydre (j'ai trouvé 0,198 pour 100 à 17°); nous aurions pour chacune de ces raisons un précipité.

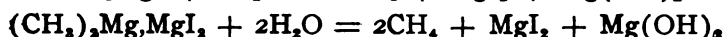
Nous nous trouvons donc en présence de deux formules comme dans le cas des combinaisons organozinciques: la formule de Frankland et celle de Gladstone et Tribe.

Quelle que soit celle que nous adoptions, il est un fait certain, c'est qu'elles conduisent toutes deux à cette conséquence que par l'action de l'eau nous devons recueillir une molécule d'hydro-

¹ comme il vient d'être dit = as it has just been described.

² telle quelle = as such.

carbure saturé (de méthane dans le cas considéré) par molécule d'éther halogéné employé :



Il était utile de faire au préalable cette constatation.

Action de l'Eau.—Pour étudier l'action de l'eau, j'ai fait réagir, sur 2 gr. de tournure de magnésium, l'iodure de méthyle, en léger excès, de façon que la dissolution soit absolument complète. J'ai opéré dans l'appareil précédemment décrit et, lorsque la réaction a été terminée, j'ai chassé, aussi bien que possible, l'air qui pouvait rester en distillant rapidement une certaine quantité de l'éther employé, sans refroidir le réfrigérant.

D'autre part j'avais disposé à la suite l'un de l'autre deux flacons, le premier vide, le second constituant un barboteur à acide sulfurique adapté par son tube de dégagement au récepteur à potasse d'un appareil à dosage d'azote. Dans le système ainsi constitué, j'ai fait passer un courant de gaz carbonique jusqu'à disparition complète de l'air, puis j'ai mis le flacon vide en communication avec l'extrémité libre du réfrigérant qui terminait le ballon contenant le composé organométallique.

Mon appareil se trouvait alors constitué de la manière suivante : 1° le ballon où s'était effectuée la réaction ; 2° un réfrigérant ascendant ; 3° un flacon vide refroidi jouant le rôle de flacon de sureté et de condenseur pour l'éther entraîné ; 4° un flacon laveur à acide sulfurique chargé d'arrêter¹ les dernières portions d'éther ; 5° le récepteur à potasse. Ce dernier appareil, grâce à son dispositif bien connu, me permettait de faire varier avec la plus grande facilité la pression dans tout l'ensemble et par suite d'introduire très aisément de l'eau sur le composé organométallique et de recueillir les gaz dégagés.

J'ai donc fait tomber de l'eau, peu à peu, au moyen du tube à brome, et, lorsque la décomposition a été terminée, j'ai balayé tout l'appareil par un courant de gaz carbonique.

J'ai recueilli ainsi 1690 cc. de gaz, la théorie exigeant environ 1850cc, soit 91 pour 100. C'est du méthane sensiblement pur.

¹ chargé d'arrêter = for the purpose of stopping.

En effet, l'absorption par l'alcool amylique, faite d'après les indications de Friedel et Gorgeu donne un coefficient voisin de $\frac{1}{2}$ (0.45), et il reste un résidu non absorbable de 2,5 pour 100.

L'analyse eudiométrique du gaz régénéré de la solution amylique a donné les résultats suivants; volume du gaz, 2,22; oxygène, 9,60; après explosion, 7,69; après potasse, 5,66; d'où: vol. disparu $V = 4,13$, $\text{CO}_2 = 2,03$, $\text{H}_2\text{O} = 3,82$, ce qui conduit à la formule $\text{C}_{1,015} \text{H}_{3,82}$, ou sensiblement CH_4 .

On a en outre

$$\frac{V}{\text{CO}_2} = 2,03 \quad \frac{V}{\text{H}_2\text{O}} = 1,08 \quad \frac{V}{\text{gaz}} = 1,86$$

Calculé pour CH_4 2,00 1,00 2,00

De même l'éthylbromure de magnésium donne de l'éthane pur. L'action de l'eau se passe donc bien conformément aux prévisions théoriques.

Constitution des Combinaisons Organomagnésiennes.—Nous avons déjà vu que les combinaisons organomagnésiennes se forment sans aucun précipité dans l'éther, qu'à l'état libre elles ne s'enflamment pas à l'air, et qu'elles réagissent sur l'eau et même sur les acides sans incandescence, ce qui permet de douter de la présence du groupement $\text{Mg}(\text{CH}_3)_2$ ou $\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$.

L'analyse ne peut fournir aucune indication, puisqu'elle cadre évidemment avec l'une et l'autre formules. Il faudrait pouvoir la compléter par la détermination du poids moléculaire, car la seconde formule représente une molécule double de la première. Je n'ai pu m'occuper encore de ce point particulier, mais je me propose d'essayer la méthode ébullioscopique en préparant la combinaison organométallique dans l'éther ordinaire ou dans un autre éther oxyde dont j'aurai préalablement déterminé la constante ébullioscopique.

À défaut d'expériences positives, je me suis appuyé sur diverses considérations théoriques déduites des circonstances de formation et du mode de réaction sur différentes fonctions, en particulier sur les aldéhydes et les cétones.

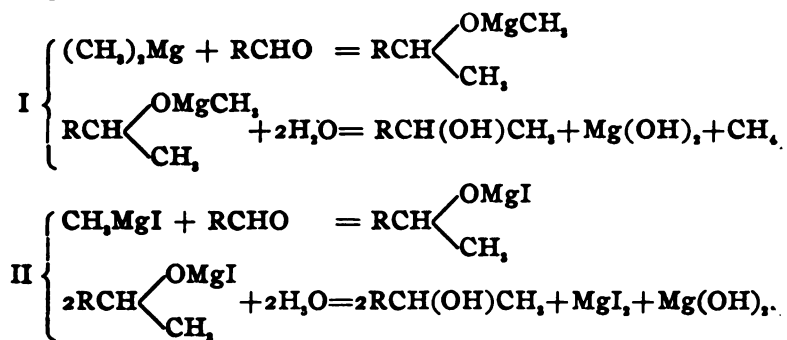
Je viens de rappeler les circonstances de formation; étudions maintenant l'action d'une aldéhyde, par exemple, sur le méthyl-

iodure de magnésium. Si, dans la combinaison étherée obtenue par l'action d'une molécule d'iodure de méthyle sur un atome de magnésium, on fait tomber peu à peu une molécule d'une aldéhyde, on formera une combinaison qui, traitée par l'eau, fournira 0,6 mol. à 0,8 mol. de l'alcool secondaire cherché.

Si la molécule du composé organomagnésien est



il est évident, d'après ce que l'on sait déjà sur les composés organométalliques, que la partie active sera simplement $(\text{CH}_3)_2\text{Mg}$, et par suite, pour exprimer les résultats précédents dans les deux hypothèses que nous discutons, nous aurons les deux systèmes d'équations suivants :



La simple inspection de ces formules montre que :

1° Dans le premier cas seulement, le traitement par l'eau doit provoquer un dégagement gazeux.

2° Dans le deuxième cas, la combinaison qui prend naissance¹ contient tout l'élément halogène introduit ; dans le premier cas au contraire, elle n'en contient pas trace, car il paraît très vraisemblable d'admettre que, si le groupement MgI_2 préexistait dans la combinaison organomagnésienne, il se déposerait au moment de la copulation avec l'aldéhyde ou la cétone.

3° Le rendement théorique est, avec la première formule, de 0,5 mol. par molécule d'éther halogéné employée, tandis que, avec la deuxième formule, ce rendement est de 1 mol.

¹ prend naissance = is formed, is generated.

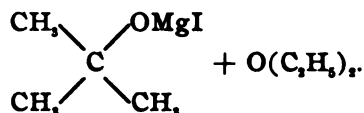
Or, voici les faits observés :

1° En traitant par l'eau les combinaisons obtenues avec les aldéhydes ou les cétones, il ne se dégage jamais aucun gaz.

2° Certaines de ces combinaisons sont entièrement solubles dans l'éther ; il n'y a donc pas d'iodure de magnésium libre. D'autres, au contraire, sont parfaitement cristallisées et l'on n'y voit qu'un seul système de cristaux ; il ne paraît donc pas y avoir d'iodure de magnésium de déposé en même temps. J'ai d'ailleurs choisi, parmi ces combinaisons, celle qui paraissait le mieux cristallisée, obtenue par l'action de l'acétone sur le méthyl iodure de magnésium et je l'ai analysée après un séjour de vingt-quatre heures dans le vide sec ; voici les résultats obtenus : matière : 1,9014 ; P_2O_5 : 0,7431 ; matière : 0,5185 ; AgI : 0,4258. D'où

	Trouvé	Calculé pour $C_4H_8 OMgI + 62 \text{ gr. } O(C_2H_5)_2$
Mg	8,45	8,39
I	44,38	44,41

Cette combinaison doit donc cristalliser avec une molécule d'éther et répondre à la formule



3° Enfin les excellents rendements obtenus, qui varient généralement de 0,6 mol. à 0,8 mol. d'alcool par molécule d'éther halogéné et dépassent même assez souvent cette dernière valeur, ne laissent aucun doute que la seconde hypothèse est seule acceptable.

Il est presque inutile d'ajouter que toutes les autres réactions des combinaisons organomagnésiennes avec les éthers-sels, les chlorures d'acides, les anhydrides d'acides, etc., sont parfaitement d'accord avec cette manière de voir.

En résumé, les combinaisons organomagnésiennes préparées dans l'éther anhydre présentent les propriétés suivantes :

1° Elles sont solides et non spontanément inflammables à l'air ;

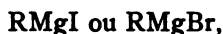
2° Elles se forment sans mise en liberté¹ d'iodure ou de bromure de magnésium.

¹ mise en liberté = setting free, liberating.

3° Leur copulation avec les aldéhydes ou les cétones ne provoque pas non plus le dépôt de ces mêmes sels; la combinaison formée renferme tout l'halogène introduit et elle se décompose par l'action de l'eau, en donnant un alcool secondaire ou tertiaire sans dégagement d'aucun gaz.

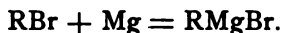
4° Le rendement de ces opérations par rapport à l'éther halogéné employé est supérieur à 50 pour 100.

Toutes ces raisons concourent à faire adopter pour ces combinaisons la formule générale

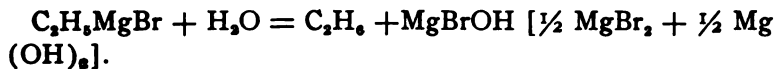


dans laquelle R représente un résidu alcoolique saturé, gras ou aromatique, ou même un résidu phénolique, comme cela résulte de mes récentes recherches en collaboration avec M. Tissier.

Réactions Secondaires dans la Préparation des Combinaisons Organomagnésiennes.—J'ai admis jusqu'à présent que la réaction entre les éthers halogénés saturés et le magnésium se passait intégralement d'après l'équation



En pratique il n'en est pas tout à fait ainsi.¹ Une première réaction secondaire, qui se présente dans tous les cas, est due à une trace d'humidité inévitable qui, au début de l'opération, produit le louche et les flocons de magnésie qu'on observe. Ainsi dans une opération sur 1 mol. de bromure d'éthyle, j'ai pu recueillir jusqu'à 100 cc. d'éthane engendré par la réaction suivante :

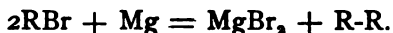


C'est là, comme on le voit, une cause d'erreur absolument négligeable qui n'atteint pas même 0,5 pour 100.

Une autre réaction secondaire beaucoup plus importante et que j'ai déjà signalée au début de mes recherches, à propos du benzylbromure de magnésium, résulte de ce fait que le magnésium possède une certaine tendance à jouer le même rôle que le sodium dans la réaction de Wurtz en s'emparant de l'élément halogéné et

¹ il n'en est pas tout à fait ainsi = it is not quite so.

permettant par suite la soudure de deux résidus hydrocarbonés en présence :



Cette réaction est absolument inappréciable avec les premiers termes, mais son importance augmente rapidement avec la condensation en carbone.

Avec le bromure d'isobutyle, on obtient un peu de diisobutyle, mais généralement en quantité trop faible pour pouvoir l'isoler à l'état de pureté. Avec le bromure d'isoamyle, on peut recueillir de 10 à 15 pour 100 de diisoamyle; avec le bromure de benzyle, la proportion de dibenzyle s'élève à 30 ou 35 pour 100 et avec l'iodure d'hexyle secondaire elle atteint jusqu'à 50 pour 100 en dihexyle.

En comparant la réaction précédente à la réaction normale, écrite un peu plus haut, on voit que celle-ci exige 1 at. de magnésium par molécule d'éther halogéné, tandis que celle-là n'utilise que 0,5 at. Je me suis demandé, en conséquence, si, en employant de la tournure de magnésium beaucoup plus fine, présentant, par suite, une surface attaquable plus grande, on n'arriverait pas à diminuer la réaction secondaire au profit de la principale. L'expérience, faite sur le bromure de benzyle, a confirmé mes prévisions, mais dans une assez faible mesure.

Quant à employer de la poudre de magnésium, on n'y peut guère songer,¹ car elle est toujours plus ou moins oxydée.

Enfin, un dernier point à signaler sur ce sujet, c'est que la réaction normale se fait moins bien, à condensation en carbone égale, avec les éthers halogénés secondaires qu'avec les primaires et encore moins surtout avec les éthers halogénés tertiaires.

Je n'ai étudié, il est vrai, dans cette dernière catégorie, que l'iodure de butyle tertiaire. Pendant toute la réaction, il se dégage un gaz qui fixe le brome et est absorbé par l'acide sulfurique; c'est certainement de l'isobutylène. Il reste en outre tout près de la moitié du magnésium introduit. Ceci explique pourquoi je n'ai pas obtenu de résultats appréciables avec cette combinaison.

Mais si l'on considère la facilité avec laquelle l'iodure de butyle

¹ on n'y peut guère songer = it is hardly to be thought of.

tertiaire se décompose, sous l'influence des alcalis ou de certains métaux comme le sodium et le zinc, en acide iodhydrique et isobutylène, on comprendra qu'il serait prématuré de généraliser.

ACTION DU GAZ CARBONIQUE SUR LES COMBINAISONS
ORGANOMAGNÉSIENNES MIXTES.

Nouvelle Méthode de Synthèse D'acides Organiques Monobasiques.—Lohr, Fleck et Waga ont constaté que les combinaisons organomagnésiennes symétriques s'enflammaient dans le gaz carbonique. J'ai reconnu, à mon tour, que ce gaz réagissait également sur les combinaisons organomagnésiennes mixtes, mais d'une façon modérée, ce qui m'a permis d'étudier la réaction.

Si l'on fait passer un courant de gaz carbonique dans une solution étherée de méthyl iodure de magnésium, on constate qu'il se forme immédiatement un dépôt cristallin qui ne tarde pas à empâter tout le liquide.¹ Cette réaction terminée, si l'on traite par la glace pilée, puis qu'on acidifie nettement par l'acide sulfurique, l'extraction à l'éther permet d'isoler facilement de l'acide acétique que j'ai caractérisé par ses propriétés acides, son odeur, son point d'ébullition et sa transformation en éther acétique.

J'ai constaté de même la formation d'acide isovalérianique au départ de² l'isobutylbromure de magnésium. La réaction paraissait donc générale; je l'ai alors étudiée quantitativement sur un terme encore plus élevé, sur l'isoamylbromure de magnésium.

J'ai préparé à la manière habituelle 0,5 mol. de ce composé, puis j'ai fait barboter dans la solution étherée un courant de gaz carbonique sec, amené par un tube assez large. Il se forme peu à peu un dépôt cristallin qui obstrue partiellement le tube à dégagement, puis il se sépare une couche grise, peu visqueuse dans laquelle se dépose une faible quantité de cristaux. Au bout de cinq heures, il ne paraît plus se produire aucune modification.

J'ai alors décomposé sur la glace; il ne précipite qu'une quantité relativement faible de magnésie qu'on dissout en ajoutant

¹qui ne tarde pas à empâter tout le liquide = which soon changes the whole liquid into a paste.

²au départ de = starting with.

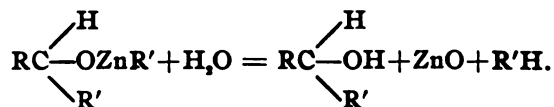
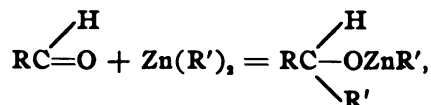
goutte à goutte de l'acide sulfurique à 25 pour 100, de façon que la liqueur reste plutôt légèrement alcaline.

On décante la couche étherée, on la lave avec un peu d'eau pure et l'on distille l'éther; il reste un résidu de 5 gr. qui passe à peu près intégralement à 155°-160° et n'attaque pas sensiblement le sodium; c'est du diisoamyle.

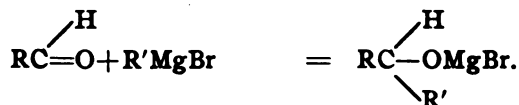
La portion aqueuse, séparée tout à l'heure, est acidifiée par 100 à 120 gr. d'acide sulfurique à 25 pour 100 (un peu plus de $\frac{1}{4}$ de molécule), puis on extrait trois fois à l'éther. Tout cet éther est lavé avec très peu d'eau pure, puis distillé. Le résidu rectifié à la pression ordinaire passe tout entier entre 190° et 200° et, à la seconde distillation, j'obtiens 32 gr. bouillant nettement à 197° sous 750 mm. Ce liquide incolore, de caractère nettement acide, d'odeur de sueur et en même temps un peu butyreuse, est de l'acide isocaproïque (le point d'ébullition indiqué par cet acide est 199°,7). Le rendement est 55 pour 100.

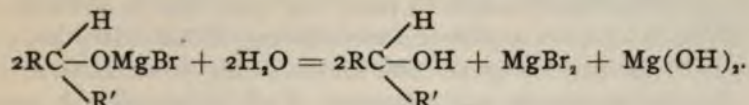
J'ai achevé d'identifier cet acide par son analyse et par sa transformation en éther éthylique.

Action des Combinaisons Organomagnésiennes sur les Aldéhydes.—Avec les composés organozinciques nous avons les réactions suivantes :



Avec les combinaisons organomagnésiennes l'interprétation théorique reste sensiblement la même :





La réaction se fait donc toujours en deux phases: copulation équimoléculaire de l'aldéhyde avec le dérivé organométallique, puis décomposition par l'eau de la combinaison formée et mise en liberté de l'alcool secondaire.

Il n'y a qu'un seul cas où cette méthode puisse conduire à des alcools primaires, c'est celui où l'on emploie la formaldéhyde qu'on peut sans doute ici remplacer par son trimère, le trioxyméthylène, comme dans le cas des composés organozinciques. Je n'ai pas encore étudié ce cas particulier.

Je ne reviendrai pas sur les avantages que présentent les combinaisons organomagnésiennes au point de vue du mode d'obtention; étudions ceux qu'ils offrent dans leur application à la méthode de Wagner.

1° La première phase dans la méthode de Wagner exige, pour être complète, un temps assez long, d'une semaine à deux mois; au contraire, quelques heures suffisent généralement dans la méthode au magnésium.

2° Au point de vue du rendement, il y a théoriquement, par la première méthode, perte de la moitié de l'éther halogéné d'où l'on est parti, sous forme d'hydrocarbure R'H. La nouvelle méthode ne présente rien de semblable en raison même de la constitution des composés organomagnésien.

3° La méthode de Wagner, quoique lente, donne de bons résultats avec les premiers termes des composés organozinciques, mais dès le zincpropyle on observe des réactions secondaires, dont la plus commune est la réduction pure et simple de l'aldéhyde en alcool correspondant, et qui abaissent le rendement d'une façon notable. Nous verrons, au contraire, qu'on peut aller avec le magnésium, au moins jusqu'au dérivé amylique, avant que ce phénomène se produise.

Je dois signaler enfin à l'actif du¹ zinc que la méthode de Saytzeff a pu être appliquée à un certain nombre d'aldéhydes, mais seulement pour la production d'alcools allyles secondaires, par Wagner et surtout par Fournier. C'est là un point à retenir puisque précisément, comme je l'ai déjà indiqué, les combinaisons allylées du magnésium ne se prêtent que très mal aux synthèses.

Mode Opérateur.—Le mode opératoire étant toujours très sensiblement le même, qu'il s'agisse de faire réagir sur² les combinaisons organomagnésiennes une aldéhyde, une cétone ou un éther-sel, je le décrirai une fois pour toutes afin de ne pas avoir à y revenir.

Une molécule du composé organométallique étant préparée en solution dans l'éther anhydre, comme je l'ai indiqué précédemment, on refroidit le ballon sous un courant d'eau et l'on y fait tomber goutte à goutte, au moyen de l'entonnoir à robinet qui nous a déjà servi, un mélange à volumes égaux d'éther anhydre et de la quantité d'aldéhyde (une molécule) ou d'éther-sel (une demi-molécule) qui doit entrer en réaction.

Dans la plupart des cas, cette réaction est très vive, au moins au début; chaque goutte produit en tombant un frémissement de fer rouge et donne naissance généralement à un flocon blanc ou jaunâtre qui, tantôt se redissout immédiatement, tantôt se dépose sous forme de magma cristallin, tantôt enfin vient former, au fond du ballon, une couche grisâtre plus ou moins visqueuse.

Lorsque tout le mélange a été introduit dans le ballon on peut chauffer quelques heures au bain-marie, à une douce ébullition, et cela réussit très bien lorsque la combinaison formée est dissoute dans l'éther; mais, dans les autres cas, il est préférable, pour ne pas s'exposer à une surchauffe locale, d'abandonner le ballon pendant un jour à la température du laboratoire. Le contenu du ballon est alors versé peu à peu sur de la glace pilée, puis on dissout la magnésie en ajoutant par petites portions de l'acide chlorhydrique, ou mieux de l'acide acétique en solution étendue. Théoriquement, il en faudrait une molécule; il est nécessaire, en

¹ à l'actif de = to the credit of, in favor of.

² qu'il s'agisse de faire réagir (une aldéhyde . . .) sur = whether one makes (an aldehyde . . .) react on.

réalité, d'en introduire un peu plus; on s'arrête d'ailleurs lorsque la liqueur devient claire et légèrement acide.

On décante alors la couche étherée et, dans le cas où l'alcool formé est soluble dans l'eau, on soumet la portion aqueuse à l'entraînement par la vapeur d'eau, puis on sépare l'alcool de la portion entraînée au moyen du carbonate de potasse.

La solution étherée est lavée au bicarbonate de soude plutôt qu'au carbonate afin d'éviter de précipiter les sels magnésiens qui peuvent être dissous, en petite quantité dans l'éther. S'il y a lieu, on agit ensuite avec du bisulfite de soude pour enlever l'aldéhyde ou la cétone qui n'a pas réagi et l'on achève alors par un nouveau lavage au bicarbonate.

On distille l'éther avec les précautions convenables, suivant la volatilité de l'alcool dissous, et l'on rectifie le résidu à la pression ordinaire ou sous pression réduite suivant le cas.

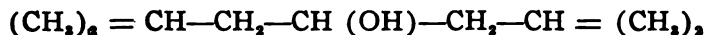
Après la distillation de l'alcool, il reste généralement dans le ballon une quantité très faible, quelquefois nulle, de produits de polymérisation qui se décomposent quand on essaie de les distiller. Quant à l'alcool, une seconde rectification suffit, dans la plupart des cas, pour l'obtenir bien pur et absolument exempt d'halogène.

J'ai appliqué cette méthode aux aldéhydes suivantes: Dans la série grasse: éthanal et valéral qui sont saturées, aldéhyde crotonique, méthyléthylacroléin, citronellal et lémonal qui sont incomplètes. Dans la série aromatique à la benzaldéhyde et enfin au furfurol. Le lémonal m'a conduit à un hydrocarbure qui sera étudié plus tard.

Alcool isopropylique (propanol—2).

J'ai reproduit cet alcool par l'action de l'éthanal sur le méthyl-iodure de magnésium. Le rendement, 67 pour 100, est notablement supérieur à celui des procédés actuellement employés. J'ai essayé, mais sans aucun succès, de remplacer l'éthanal par la paralaldéhyde.

Diisobutylcarbinol (diméthyl—2—6 heptanol—4).



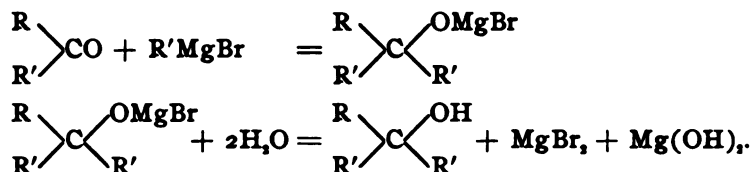
Il résulte de l'action de l'isovaléral sur l'isobutylbromure de magnésium. C'est un liquide incolore, peu mobile, d'odeur forte

et peu agréable, bouillant à 172°—174° sous 750 mm. Rendement 55 pour 100. Analyse: C, 74,64; H, 13,95. Calculé pour $C_8H_{10}O$: C, 75,00; H, 13,89.

Il présente les constantes suivantes: $d_4^{20} = 0,8237$; $d_4^{25} = 0,8155$; $n_D^{20} = 1,42629$. Son éther acétique est un liquide incolore, assez mobile, d'odeur fruitée agréable, qui bout à 183° sous 750 mm.

ACTION DES COMBINAISONS ORGANOMAGNÉSIENNES SUR LES CÉTONES.

L'interprétation théorique est ici la même que dans le cas particulier de la méthode de Saytzeff où l'on opère avec l'iodure ou le bromure d'allyle:



L'avantage capital des combinaisons organomagnésiennes est de réagir normalement sur les cétones en $-CO-CH_3$, ce qui n'avait lieu, comme on sait, dans la méthode de Saytzeff, que pour les combinaisons allylées du zinc. En outre, les réactions secondaires sont beaucoup moins importantes, et, par suite, les rendements bien meilleurs.

Triméthylcarbinol (méthyl—2 propanol—2). (CH_3)₃ $\equiv$ C(OH).

Cet alcool a été préparé avec d'excellents rendements par Butlerow, mais sa méthode est d'une application difficile et se prête mal à une préparation en grand.

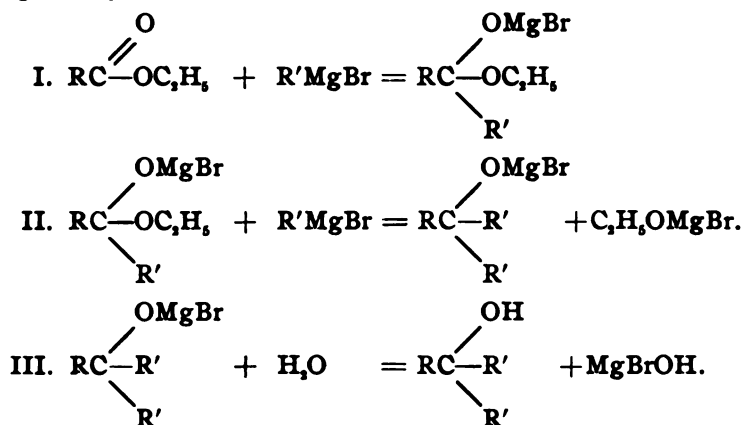
J'ai réalisé très commodément deux nouvelles synthèses de ce premier représentant des alcools tertiaires, mais je ne décrirai que la première.

Elle consiste à faire réagir l'acétone sur le méthyl iodure de magnésium. Après décomposition par l'eau, il faut traiter séparément la solution étherée et la solution aqueuse; on isole ainsi

l'hydrate $(C_4H_{10}O)_2 + H_2O$ que la distillation sur la baryte, puis sur le sodium, transforme en triméthylcarbinol cristallisable, fusible à 25° . Rendement 70 pour 100.

ACTION DES COMBINAISONS ORGANOMAGNÉSIENNES
SUR LES ÉTHERS-SELS.

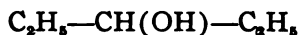
La réaction se passe en trois phases, comme dans la méthode de Wagner-Saytzeff :



Il faut employer, comme on voit,, par molécule d'éther-sel, deux molécules d'éther halogéné, tandis qu'il en faut quatre¹ dans la méthode de Wagner-Saytzeff. En outre, la méthode de Wagner-Saytzeff ne paraît être pratiquement applicable, avec les iodures saturés, qu'à l'éther formique, et seulement avec l'iodure d'allyle, à tous les éthers.

Avec les combinaisons organomagnésiennes, au contraire, la méthode est tout à fait générale, comme l'ont montré mes propres recherches d'abord, puis celles de MM. Masson dans la série grasse, Bethal, Tiffeneau et Sommelet dans la série aromatique, Valeur sur les éthers d'acides bibasiques.

Diéthylcarbinol (pentanol—3).



¹ tandis qu'il en faut quatre = while four are needed.

Par l'action de l'éther formique sur l'éthylbromure de magnésium, j'ai reproduit le diéthylcarbinol avec un rendement de 73 pour 100. Il bout à 114°—115° sous 749 mm (116°5 sous 753, 2 mm, d'après Wagner et Saytzeff).

$$d_4 = 0,8391, d_{4,7}^{20} = 0,8271, n_D^{20} = 1,41243.$$

Diisoamylcarbinol (diméthyl—2—8 nonanol—5).



Par l'action de l'isoamylbromure de magnésium sur le formiate d'éthyle, on obtient, au lieu de l'alcool attendu, son formiate, liquide mobile, d'odeur douce et agréable, qui bout à 100°—101° sous 8mm. Analyse: C, 71,95 et 71,97; H, 11,97 et 12,19. Calculé pour $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$: C, 72,00; H, 12,00.

Il se fait¹ un peu d'alcool amylique en même temps. Par saponification, on obtient le diisoamylcarbinol, liquide assez mobile, d'odeur faible, bouillant à 105° sous 9mm.

$$d_4 = 0,840, d_{4,4}^{20} = 0,8305, n_D^{20} = 1,43801.$$

Analyse: C, 76,44; H, 14,22. Calculé pur $\text{C}_{11}\text{H}_{24}\text{O}$: C, 76,74; H, 13,95.

SUR UNE NOUVELLE MÉTHODE GÉNÉRALE DE SYNTHÈSE DES COMBINAISONS AROMATIQUES.

PAR MM. C. FRIEDEL, ET J. M. CRAFTS.

Annales de Chimie et de Physique, Sixième Série, Vol. I.

INTRODUCTION.

Dans un travail que nous avons entrepris ensemble, nous avons été conduits à étudier l'action de l'aluminium en limaille ou en feuilles minces sur divers chlorures organiques.

Nous avons voulu, pour transformer un chlorure organique en iodure, nous servir de la méthode de M. Gustavson. On sait que cette méthode consiste à mettre le chlorure en contact avec l'iodure d'aluminium. Nous avons essayé de la modifier en plaçant

¹ il se fait = there is formed.

le chlorure en présence de l'aluminium et de l'iode en quantités convenables pour former l'iodure d'aluminium.

Dans ces conditions, il se produit une réaction extrêmement vive, qui ne fournit pas l'iodure organique cherché; nous avons reconnu bientôt qu'une très petite quantité d'iode, ajoutée au mélange d'aluminium et de chlorure, suffit pour la déterminer, et qu'elle se fait avec un abondant dégagement d'acide chlorhydrique.

L'iode peut aussi être entièrement supprimé, seulement, dans ce cas, la réaction ne se produit pas à froid. Même en chauffant le chlorure organique additionné d'aluminium, on n'obtient tout d'abord qu'une réaction fort lente; peu à peu celle-ci s'accélère, et cela jusqu'au point de devenir tumultueuse et de ne pouvoir parfois être régularisée, même par le refroidissement du vase.

Soit avec l'aide de l'iode, soit sans l'intervention de cet agent, la réaction se produit avec un abondant dégagement d'acide chlorhydrique. Pour le chlorure d'amyle sur lequel nous avons opéré principalement, dans nos premières expériences, ce dégagement est accompagné de la formation de nombreux hydrocarbures dont les uns sont gazeux, et dont les autres, liquides, bouillent à des températures variables et très élevées pour une partie d'entre eux. Il se produit en même temps du chlorure d'aluminium, et la réaction est d'autant plus active que celui-ci s'est formé, aux dépens du chlorure organique, en proportion plus considérable.

Cette dernière remarque nous a engagé à rechercher si la réaction principale, au lieu d'être due au métal, comme nous l'avions supposé d'abord, ne devait pas être, en réalité, attribuée au chlorure métallique.

Il a été facile de nous assurer qu'il en est bien ainsi. Nous avons ajouté à du chlorure d'amyle de petites quantités de chlorure d'aluminium anhydre et nous avons vu aussitôt se produire à froid un vif dégagement gazeux. Le gaz qui se dégage est formé d'acide chlorhydrique mélangé à des hydrocarbures gazeux non absorbables par le brome.

Au sein du chlorure d'amyle, dans lequel les premières portions du chlorure d'aluminium s'étaient d'abord dissoutes, on voit se former des gouttes, puis une couche d'un liquide brunâtre plus

dense. La réaction semble se passer principalement au contact des deux liquides. Nous avons d'ailleurs remarqué que, dans l'action de l'aluminium, il se produit un liquide brun tout pareil.

Lorsque la réaction s'est continuée assez longtemps, aidée à la fin, pour la compléter, d'une douce chaleur, on peut recueillir d'une part une quantité d'acide chlorhydrique, qui renferme la plus grande partie du chlore contenue primitivement dans le chlorure d'amyle employé, et de l'autre, une série d'hydrocarbures, les uns gazeux, les autres liquides, et bouillant à des températures variables allant jusqu'au-dessus de celle de l'ébullition du mercure. Le résidu renferme du chlorure d'aluminium qui peut être sublimé en lamelles hexagonales ou en croûtes cristallines lorsqu'on chauffe le vase assez longtemps en le faisant traverser par un courant d'un gaz inerte.

Dans une expérience faite avec 50 gr. de chlorure d'amyle et 10 gr. de chlorure d'aluminium, nous avons recueilli 12 gr. ,5 d'acide chlorhydrique, en faisant passer les gaz dans un flacon laveur renfermant de l'eau. Les hydrocarbures liquides dont le poids était de 26 gr. ,5 renfermaient 9 pour 100 de chlore, c'est-à-dire, 2 gr. ,5 d'acide chlorhydrique: en tout 15 gr. Le chlorure d'amyle employé pouvait fournir 17 gr. d'acide chlorhydrique.

Nous n'avons pas encore fait l'étude complète des produits hydrocarbonés qui se forment dans cette réaction. Nous réservons cette étude pour un Mémoire ultérieur, où elle sera accompagnée de celle des produits qui prennent naissance par l'action du chlorure d'aluminium sur divers hydrocarbures. Nous avons constaté seulement que les carbures gazeux appartiennent à la série des hydrocarbures saturés C_nH_{2n+2} ; les gaz, en traversant le brome, ne fournissent que des quantités négligeables de produits bromés. Les termes bouillant plus haut sont plus pauvres en hydrogène. Un produit bouillant de 245-260°, et ne renfermant qu'une trace de chlore, a donné à l'analyse :

Matière	0 gr. ,211
Acide carbonique	0 ,674
Eau	0 ,2419

soit, en centièmes,¹

¹ en centièmes = in per cent.

		$n(C_4H_7)$	$n(C_5H_8)$
C	87,11	87,27	88,24
H	12,73	12,72	11,76

Des faits précédents nous pouvons conclure que certains chlorures organiques sont attaqués par le chlorure d'aluminium avec dégagement d'acide chlorhydrique; cette attaque est accompagnée d'une dislocation complète du radical hydrocarbure: le chlorure d'amyle ne se scinde pas simplement en acide chlorhydrique et amylène, ce dernier fournissant ensuite des carbures supérieurs par polymérisation; il semble plutôt que deux molécules de chlorure d'amyle interviennent pour fournir l'une le chlore et l'autre l'hydrogène.

Cette observation et la complication évidente des produits formés aux dépens du chlorure d'amyle nous ont décidés à laisser de côté, pour le moment, l'étude de ces produits et à tenter une réaction pouvant donner des résultats plus simples et d'une application plus facile. Nous avons pensé qu'en mettant le chlorure organique en présence d'un hydrocarbure et en faisant réagir sur leur mélange le chlorure d'aluminium, le premier fournissant le chlore, le deuxième l'hydrogène, nous pourrions obtenir un hydrocarbure résultant de la combinaison de deux résidus. On possédait, en effet, des exemples de réactions de cet ordre, réalisées par M. Zincke à l'aide de la poudre de zinc par un mécanisme inexplicable, mais néanmoins fécond.

Nous avons trouvé, en effet, en nous plaçant dans ces conditions, des faits qui nous ont conduits à une méthode générale de synthèse des hydrocarbures de la série aromatique.

En cherchant à interpréter les réactions produites, nous pensons avoir trouvé en même temps l'explication de celle due à M. Zincke et d'autres réactions que M. Gustavson a fait connaître depuis et qui consistent dans la substitution plus facile et plus complète du chlore et du brome dans les hydrocarbures lorsqu'on fait agir ces métalloïdes sur eux, en présence du chlorure ou du bromure d'aluminium.

Nous avons trouvé, en outre, des réactions d'un ordre tout différent, se rattachant cependant aux premières par la théorie même que nous avons proposée pour celles-ci. Nous voulons

parler de réactions, non plus de substitution comme les précédentes, mais d'addition.

ACTION DES CHLORURES ORGANIQUES SUR LES HYDROCARBURES AROMATIQUES, EN PRÉSENCE DU CHLORURE, D'ALUMINIUM.

Chlorure d'Amyle et Benzine.

Nous avons commencé par étudier l'action du chlorure d'aluminium sur un mélange de benzine et de chlorure d'amyle, préparé avec l'alcool amylique ordinaire.

Après avoir ajouté à du chlorure d'amyle sec, contenu dans un ballon à long col, un excès notable de benzine cristallisable bien desséchée, nous avons introduit par petites portions du chlorure d'aluminium.

Le chlorure d'aluminium doit être frais et non mélangé d'oxyde, comme cela arrive lorsqu'il est resté dans un flacon mal bouché. On s'assure qu'il est propre à servir on en volatilise une petite portion dans un tube d'essai bien sec; le chlorure doit se volatiliser en entier ou ne laisser au moins qu'un résidu peu abondant. Pour manier le chlorure d'aluminium, pour le peser et pour le verser par petites portions, il est commode de le puiser dans le flacon à l'émeri¹ où on le conserve, au moyen d'un tube bouché de 0 m. ,02 à 0 m. ,03 de diamètre, que l'on se hâte de fermer avec un bouchon.

Quand on verse le chlorure d'aluminium peu à peu dans le mélange de chlorure d'amyle et de benzine, on voit se produire à froid une réaction régulière accompagnée d'un dégagement d'acide chlorhydrique; il se forme bientôt deux couches, dont l'inférieure est colorée en brun et renferme la presque totalité du chlorure d'aluminium. Lorsque, même en ajoutant une petite quantité de chlorure d'aluminium et en chauffant doucement, on n'a plus vu se produire un dégagement notable d'acide chlorhydrique, on a séparé les deux couches et on les a traitées isolément par l'eau. La couche brune inférieure donne lieu à un vif dégagement de chaleur lorsqu'on la décompose par l'eau; il faut

¹ flacon à l'émeri = glass stoppered bottle.

avoir soin de la verser dans un ballon renfermant une notable quantité d'eau, et non de verser de l'eau dans le vase qui la contient: on s'exposerait à perdre une grande partie du produit. Les deux portions ont fourni, à la distillation, après avoir été desséchées au moyen du chlorure de calcium, à peu près les mêmes produits; seulement la couche limpide supérieure renfermait plus de benzine et une plus forte proportion des hydrocarbures bouillant à une température relativement basse.

La couche inférieure, au contraire, a fourni surtout des produits bouillant à une température élevée.

Il a été facile d'extraire des deux, par un petit nombre de distillations fractionnées, un liquide bouillant entre 185° et 190° et ayant la composition et les propriétés de l'amylobenzine.

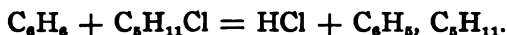
0 gr. ,200 de matière ont donné à l'analyse:

Acide carbonique.....	0 gr. ,6585
Eau.....	0 ,1985

soit, en centièmes,

	Trouvé	Théorie pour (C ₈ H ₁₁ , C ₆ H ₆).
C.....	89,79	89,18
H	10,97	10,81

La réaction qui a donné lieu à la formation de l'amylobenzine peut être exprimée empiriquement par l'équation



Des résultats obtenus dans d'autres expériences, nous pouvons conclure que les portions du produit bouillant à une température plus élevée renferment des dérivés de la benzine, dans lesquels deux ou plusieurs atomes d'hydrogène sont remplacés par le radical amyle.

Nous ne nous sommes pas occupés de les isoler.

Mais nous pouvons ajouter que M. Amory Austin a préparé par notre procédé la diamylobenzine C₆H₄(C₈H₁₁)₂, en employant le chlorure d'amyle actif. La diamylobenzine obtenue, soit du premier jet,¹ soit en faisant réagir le chlorure d'amyle en présence du chlorure d'aluminium sur l'amylobenzine, bout vers 265°; elle est liquide, incolore, d'une odeur légèrement aromatique et d'une

¹premier jet = in one step reaction, directly.

saveur qui rappelle la térébenthine. Elle est très mobile et brûle avec une flamme fuligineuse. Elle est soluble dans la benzine, dans l'alcool et dans l'éther. Sa densité à 0° est de 0,8868.

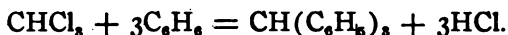
Elle s'est formée suivant l'équation



CHLOROFORME ET BENZINE.

Ayant constaté que les chlorures alcooliques réagissent sur la benzine en présence du chlorure d'aluminium de manière que le radical alcoolique prenne la place d'un des atomes d'hydrogène de la benzine, nous nous sommes demandé comment réagiraient les chlorures renfermant un plus grand nombre d'atomes de chlore.

Nous avons opéré d'abord avec le chloroforme et nous avons reconnu facilement que la réaction est tout à fait analogue et que chacun des atomes de chlore du chloroforme est remplacé par une fois le groupe phényle de la benzine, de sorte que le produit est le triphénylméthane.



Les meilleurs proportions à employer sont les suivantes : 1100 grammes de benzine, 200 grammes de chloroforme et 200 grammes environ de chlorure d'aluminium, qu'on ajoute en quatre ou cinq fois pour éviter une réaction trop énergique. A la fin, on chauffe à l'ébullition la benzine pendant deux heures, pour achever la réaction. En recueillant l'acide chlorhydrique, on constate qu'il s'en dégage environ 130 grammes au lieu de 183,4 grammes, qui correspondent théoriquement à une réaction complète. Même en faisant bouillir pendant beaucoup plus longtemps, on ne parvient pas à chasser tout le chlore du chloroforme et l'on tombe dans un inconvénient qui sera signalé plus bas, le chlorure d'aluminium réagissant à son tour sur le triphénylméthane formé, pour le décomposer.

On verse le produit brut dans l'eau, on décante et l'on distille : on obtient ainsi 280 grammes d'un produit bouillant au-dessus de 156°, c'est-à-dire ne renfermant plus de benzine. Quand on chauffe ce liquide pour le distiller, on ne voit rien passer avant 200°. Vers cette température, il se produit une ré-

action, accompagnée du dégagement d'une quantité notable d'acide chlorhydrique et d'un peu d'eau. Si l'on a fait bouillir préalablement le produit brut avec une solution étendue de soude caustique, on observe néanmoins le même phénomène à la distillation.

On sépare par la distillation fractionnée environ 40 grammes de diphénylméthane et 150 grammes de triphénylméthane.

Les autres produits bouillent principalement au-dessus de la température d'ébullition du triphénylméthane et peuvent en être séparés en partie par des distillations, en partie par des cristallisations dans l'alcool.

Il reste 50 grammes d'un résidu noir charbonneux.

Le triphénylméthane est facile à purifier en se servant de la propriété qu'il a de donner avec la benzine une combinaison cristallisée. Cette combinaison se forme immédiatement sur le porte-objet¹ du microscope lorsqu'on met la benzine en contact avec le triphénylméthane; elle présente des formes rhomboédriques qui, d'abord transparentes, deviennent bientôt opaques en perdant la benzine qu'elles renferment. Ces cristaux ne sont pas très solubles dans la benzine et peuvent être purifiés des carbures huileux qui y étaient mélangés par des lavages avec une petite quantité de benzine. On peut ensuite laisser effleurir les cristaux à l'air, ou bien chasser la benzine par distillation, et faire enfin cristalliser le triphénylméthane dans l'alcool. On l'obtient tout à fait pur et fondant à 94°.

Il a donné à l'analyse:

Matière employée	0 gr. ,2115
Acide carbonique.....	0 ,7231
Eau.....	0 ,1280

ou, en centièmes,

		Théorie (C ₁₉ H ₁₈)
C	93,24	93,44
H	6,72	6,55

Le triphénylméthane est toujours accompagné d'une certaine quantité de diphénylméthane, ainsi que l'ont indiqué MM. E. et O. Fischer. Ces savants attribuent la formation de ce dernier composé à l'action réductrice qu'exercerait le chlorure d'alumi-

¹ porte-objet = stage.

nium. Cette manière de voir serait tout à fait d'accord avec la théorie que nous avons donnée des réactions qui se produisent sur les hydrocarbures en présence du chlorure d'aluminium. Nous avons admis qu'il se forme en très petite quantité et d'une manière transitoire un composé organométallique (avec la benzine, par exemple, le composé C_6H_6, Al_2Cl_6), qui pourrait bien exercer une action réductrice, comme fait le zinc-éthyle. Nous avons de fait¹ avec les corps nitrés observé des phénomènes qui rappellent les réductions exercées sur ces composés par le zinc-éthyle. Mais, avec les chlorures, nous avons en général constaté le remplacement pur et simple du chlore par le phényle ou par un groupe analogue.

Par contre, comme nous l'avons dit plus haut, même après une ébullition assez longue du mélange, on ne parvient pas à chasser à l'état d'acide chlorhydrique la totalité du chlore contenu dans le chloroforme. Il reste du chlore dans le produit traité par l'eau et quand on distille, vers 200° , on voit se produire un abondant dégagement d'acide chlorhydrique. Le produit distillé ne renferme pas de chlore. Nous pensons que le composé $(C_6H_5)_2CClH$, produit intermédiaire dans la réaction qui donne le triphénylméthane, persiste en certaine proportion dans le produit brut, et se décompose en même temps qu'une certaine quantité de triphénylméthane. Il échange son chlore contre un atome d'hydrogène du triphénylméthane. Le triphénylméthane attaqué pourrait donner le corps $C_2(C_6H_5)_6$; mais la production d'une quantité considérable de matières goudroneuses indistillables semble indiquer que le groupe phényle est attaqué en cédant de l'hydrogène et en donnant des produits de condensation complexes.

Cette hypothèse de la formation du produit intermédiaire $CHCl(C_6H_5)_2$, que tout rend vraisemblable, nous a suggéré l'idée de quelques essais faits en vue de décomposer ce chlorure avant la distillation. Mais nous n'avons réussi à enlever complètement le chlore au mélange, ni en traitant celui-ci à l'ébullition, pendant longtemps, par le zinc et l'acide chlorhydrique en solution alcoolique, ni en le faisant bouillir avec une dissolution de potasse.

Pour le dire tout de suite, la production du diphenylméthane a

¹ de fait = in fact.

encore une autre cause: c'est l'action décomposante que le chlorure d'aluminium exerce sur le triphénylméthane comme beaucoup d'autres hydrocarbures. Nous reviendrons plus tard sur cette propriété curieuse du chlorure d'aluminium. Nous nous contenterons de citer ici des expériences faites avec le triphénylméthane, qui mettent hors de doute l'action qu'exerce sur lui le chlorure d'aluminium.

Si l'on chauffe le triphénylméthane pendant dix minutes environ, à la température de 120° , avec le tiers de son poids de chlorure d'aluminium, le carbure est presque entièrement décomposé. Par distillation avec la vapeur d'eau, on isole de la benzine, sans proportion appréciable de toluène; le résidu est un hydrocarbure renfermant seulement des traces de chlore et qui a l'aspect de l'asphalte. Il se décompose entièrement à la distillation et le seul produit qu'on ait pu isoler est la benzine, qui s'est d'ailleurs produite en proportion notable.

Le triphénylméthane, chauffé pendant dix heures environ à une température inférieure à celle de l'ébullition de la benzine, avec 75 fois son poids de benzine et avec son poids de chlorure d'aluminium, a fourni plus du tiers de son poids de diphenylméthane. Il n'était pourtant pas tout à fait décomposé.

Sans nier la possibilité d'une réduction par le chlorure d'aluminium agissant en présence d'hydrocarbures aromatiques, nous croyons qu'il faut attribuer, dans la production du diphenylméthane, une influence prépondérante aux réactions que nous venons de signaler.

Il résulte évidemment de l'action décomposante que le chlorure d'aluminium exerce sur le triphénylméthane la nécessité de ne pas laisser ce produit trop longtemps, après sa formation, en contact avec l'agent qui a servi à le produire, c'est-à-dire qu'il ne faut pas trop longtemps prolonger la réaction.

Il est probable que c'est en bonne partie à cette cause qu'il faut attribuer les rendements, beaucoup moins favorables en triphénylméthane et plus forts en diphenylméthane, obtenus par MM. Fischer, qui ont conseillé de chauffer le mélange de benzine, de chloroforme et de chlorure d'aluminium pendant trente heures; 700 gr. de chloroforme leur ont donné 200 gr. de triphénylméthane

et 140 gr. de diphenylméthane. La même quantité de chloroforme, en opérant comme il a été indiqué plus haut, nous ont fourni 500 gr. de triphenylméthane et 120 gr. de diphenylméthane.

L'emploi du chlorure d'aluminium altéré par l'humidité de l'air diminue aussi notablement le rendement et favorise la destruction des hydrocarbures formés.

Nous ajouterons encore que M. Schwartz a signalé la formation de tétraphényléthylène $C_2(C_6H_5)_4$ qui pourrait provenir de la décomposition du corps $CHCl(C_6H_5)_3$.



Nous pensons qu'il y a lieu de révoquer en doute¹ ce fait, qui est du reste le seul, dans le travail de M. Schwartz, qui serait nouveau, malgré la prétention qu'il a eu de donner un "nouveau procédé de préparation du triphenylméthane." Nous obtenons bien, en opérant dans les mêmes conditions, des corps qui ressemblent aux siens, surtout quand la purification n'en est pas achevée; mais ce qu'il a pris pour le tétraphényléthylène est l'anthracène, son tétratolyléthylène est le diméthylanthracène, et nous soupçonnons que le corps obtenu par lui avec le xylène est le tétraméthylanthracène et probablement un mélange de plusieurs isomères.

Voici la comparaison des données de M. Schwartz avec celles qui correspondent aux propriétés des corps de la série de l'anthracène, dont nous avons observé la formation dans des conditions analogues.

Corps cristallisé en lamelles jaune clair, fondant à 204°, se sublimant facilement à 200°, très peu soluble dans l'alcool bouillant, beaucoup moins soluble dans la benzine que le triphenylméthane.

	Anthracène (théorie), Point de fusion 213°	Produit de M. Schwartz (CHCl ₃ sur C ₆ H ₆)	Tétraphényl éthylène théorie C ₂₆ H ₂₀
C	94,38	94,03 93,88	93,97
H	5,63	5,93 5,91	6,03

Corps cristallisé en lamelles jaune plus foncé, un peu moins soluble, fond à 215°, commence à se sublimer à 180°-200°.

¹il y a eu de révoquer en doute = there is reason to doubt.

	Diméthyl anthracène (théorie) fond à 225°	Produit de M. Schwartz CHCl ₃ sur toluène			Tétratolyl éthylène Théorie C ₂₀ H ₂₂
C	93,20	92,68	92,67	93,60	92,79
H	6,80	7,21	7,00	6,89	7,21

M. Schwartz n'a d'ailleurs fait aucune expérience pour mieux caractériser ces corps ou pour faire ressortir leurs fonctions chimiques. Leur mode de préparation et de purification, leur aspect, leurs points de fusion, combinés avec les résultats des analyses suffisent pour nous convaincre de leur identité avec l'anthracène et avec le diméthylanthracène.

Nous avons, en collaboration avec M. C. Vincent, isolé dans les produits accessoires de la même réaction, c'est-à-dire du chloroforme sur le benzine, en employant les proportions indiquées plus haut, l'anthracène et le phénylanthracène, ce dernier en quantité prépondérante.

Les produits bouillant à une température élevée et cristallisables ont été repris à plusieurs reprises¹ par la benzine et par l'alcool, ou dissous dans la benzine et précipités par l'alcool, de manière à séparer les produits plus ou moins solubles. Nous sommes parvenus à isoler ainsi une certaine proportion de triphénylméthane, puis un carbure beaucoup moins soluble en belles lamelles jaunes fondant à 154°, puis un autre moins soluble encore en lamelles jaune verdâtre fondant à 213°.

Le carbure fondant à 154° a donné à l'analyse les nombres suivants :

I. Matière employée	0 gr. ,194
Acide carbonique	0 ,675
Eau	0 ,1025
II. Matière employée	0 gr. ,195
Acide carbonique	0 ,673
Eau	0 ,100

ou, en centièmes,

	I.	II.	Théorie C ₂₀ H ₁₄
C	94,89	94,12	94,49
H	5,87	5,69	5,51

Ce carbure bout à 417° du thermomètre à hydrogène de l'un de nous.

¹ ont été repris à plusieurs reprises = were redissolved several times.

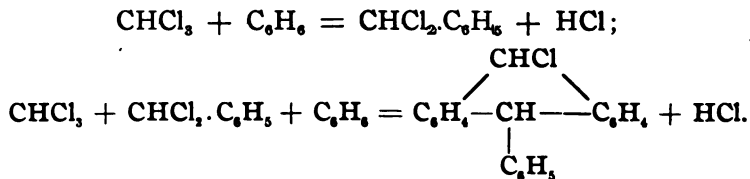
On a pris sa densité de vapeur, dans l'azote, à la température d'ébullition de la vapeur de soufre, par le procédé de M. V. Meyer.

On a trouvé :

I. Matière employée	0 gr., 150
Azote recueilli à 17°,5 et sous la pression de	
769 mm., 58	14 cc., 81
Densité	8 ,40
II. Matière employée	0 gr., 104
Azote recueilli à 18° et sous la pression de	
769 mm., 58	9 cc., 7
Densité	8 ,90

Le carbure resté dans l'appareil, ayant été repris par la benzine et cristallisé dans l'alcool, avait encore son point de fusion de 154°.

La densité théorique du phénylanthracène est de 8,79. On comprend la formation de l'anthracène par l'action de deux molécules de chloroforme sur deux molécules de benzine; il se formerait ainsi un hydrure d'anthracène bichloré qui peut perdre HCl pour donner un anthracène chloré, lequel serait lui-même réduit en anthracène. Quant au phénylanthracène, sa production est probablement précédée de celle du bichlorure de benzilidène produit par l'action de 1 molécule de chloroforme sur 1 molécule de benzine. Ce chlorure, réagissant en même temps que 1 molécule de chloroforme sur 2 molécules de benzine, donnerait un hydrure chloré de phénylanthracène, et, par perte de HCl, le phénylanthracène



Nous avons, d'ailleurs, vérifié la nature du carbure ci-dessus en le soumettant à l'oxydation au moyen de l'acide chromique en solution dans l'acide acétique cristallisable. Nous avons trouvé qu'il fournit facilement le phényloxanthranol qui a été obtenu, comme on le sait, par M. Baeyer en oxydant le phénylanthranol.

Celui-ci provient lui-même de l'action des déshydratants et particulièrement de l'acide sulfurique sur la diphenylphtalide. Le phényloxanthrol de M. Baeyer fond à 208° , celui que nous a fourni l'oxydation du phénylanthracène fond à 216° . Il a d'ailleurs, comme le corps décrit par M. Baeyer, la propriété de se dissoudre dans l'acide sulfurique en le colorant en pourpre. Il cristallise en petits prismes clinorhombiques et est accompagné d'un autre corps, soluble comme lui dans l'acide sulfurique avec une couleur rouge, mais qui fond à 192° et dont les cristaux sont orthorhombiques. Nous avons eu ce dernier jusqu'ici en trop petite quantité pour l'examiner plus complètement et pour l'analyser.

Lorsqu'on emploie beaucoup plus de chloroforme et moins de benzine que nous ne l'indiquons, on obtient surtout des produits liquides bouillant à une température plus élevée que le triphénylméthane. Ces produits n'ont pas encore été étudiés.

CHLORURES D'ACIDES.

Les chlorures d'acides réagissent sur les carbures aromatiques en présence du chlorure d'aluminium comme les chlorures d'alcools, et fournissent les acétones. C'est là un excellent procédé de préparation de ces derniers corps; il est de beaucoup préférable à la distillation sèche d'un sel ou d'un mélange de sels; cette dernière fournit en effet toujours des mélanges de produits que l'on est obligé de séparer par des distillations fractionnées très multipliées, et sans être bien sûr finalement d'avoir un produit tout à fait pur. L'action des chlorures d'acides sur la benzine, par exemple, ne fournit que l'acétone cherchée, mélangée seulement avec des produits bouillant d'ordinaire à une température très élevée et faciles à séparer. Pour la benzophenone en particulier, on l'obtient au moyen de l'oxychlorure de carbone, dans un état de grande pureté et telle qu'elle peut avantageusement servir, comme l'a fait voir l'un de nous, à la détermination du point fixe du thermomètre correspondant à son ébullition.

Chlorure d'Acétyle.

Le chlorure d'acétyle réagit facilement à chaud en présence

du chlorure d'aluminium sur la benzine. Lorsque le dégagement d'acide chlorhydrique se ralentit, on verse le produit dans l'eau, on décante et l'on distille comme d'habitude. On recueille une notable proportion d'un produit bouillant vers 200° et restant liquide à la température de zéro degré, jusqu'au moment où on le touche avec une parcelle de méthylbenzoyl cristallisé. Il possède d'ailleurs l'odeur caractéristique et toutes les propriétés de ce corps.

La réaction est exprimée par la formule

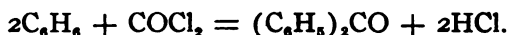


OXYCHLORURE DE CARBONE.

M. Berthelot et d'autres expérimentateurs ont montré que, malgré des assertions contraires, l'oxychlorure de carbone ne réagit pas sur la benzine dans les conditions qui avaient été réalisées jusqu'ici. Il n'en est pas de même en présence du chlorure d'aluminium. Dans ce cas, la réaction se produit avec la plus grande facilité et à la température ordinaire; il ne se forme que très peu de produits accessoires: mais le produit principal n'est pas le chlorure de benzoyl, c'est la benzophénone. Au lieu d'être exprimée par l'équation



la réaction répond pour la plus grande partie à la suivante:



On ne peut pas s'en étonner, comme on vient de le voir, le chlorure de benzoyl se transforme facilement en présence de la benzine additionnée de¹ chlorure d'aluminium en benzophénone.

Pour isoler une proportion appréciable du chlorure de benzoyl qui évidemment s'est formée tout d'abord, il est nécessaire de sacrifier une portion de l'oxychlorure de carbone en interrompant la réaction longtemps avant qu'elle soit complétée.

Celle-ci, quoique donnant une certaine quantité de chlorure de benzoyl et par suite d'acide benzoïque, ne fournit pas un procédé pratique pour la préparation de cet acide. Pour la benzo-

¹ additionnée de = to which has been added.

phénone au contraire, il permet de l'obtenir en aussi grande abondance qu'on veut.

L'oxychlorure de carbone a été préparé de la manière ordinaire en faisant agir le chlore sur l'oxyde de carbone au soleil. On a enlevé l'excès de chlore en faisant passer le gaz au soleil, dans de la benzine et ensuite sur du zinc en tournure. Le gaz traversait une série de flacons renfermant de la benzine additionnée de chlorure d'aluminium. Les opérations duraient de quatre à six heures. A la fin, chacun des flacons, et particulièrement le premier, renfermait de la benzophénone en dissolution. Il est facile d'isoler celle-ci en traitant par l'eau pour dissoudre le chlorure d'aluminium et en distillant la benzine après lavage à la potasse. La benzophénone n'est accompagnée que d'une très petite quantité d'une matière huileuse qui bout à une température plus élevée et qui pourrait être un dérivé du thiophène, corps qui n'était pas encore connu quand nous avons fait ce travail.

La benzophénone est purifiée par des cristallisations répétées dans l'alcool; néanmoins, on ne l'obtient pas ainsi tout à fait pure; elle fond de 2° à 3° plus bas que la benzophénone pure et donne à l'analyse une perte de 1 à 2 pour 100 de carbone. On n'a réussi à la préparer dans un état complet de pureté qu'en se fondant sur une remarque faite relativement à la solubilité dans l'alcool étendu de la matière huileuse, qui est moindre que celle de la benzophénone. On a donc ajouté à la solution alcoolique de la benzophénone de petites quantités d'eau et l'on a séparé les premiers précipités. Les derniers ont fourni le produit pur fondant à 46° , bouillant de 296° à 297° (250° non plongés dans la vapeur).

Elle a donné à l'analyse:

Matière	0 gr. ,1972
Acide carbonique	0 ,6182
Eau	0 ,0944

ou, en centièmes,

		Théorie ($C_{18}H_{16}O$).
C	85,50	85,71
H	5,33	5,49

On a réussi à l'obtenir plus pure encore et fondant alors à

47°8, en la chauffant à 250° avec 10 pour 100 d'acide sulfurique concentré, ou en la faisant bouillir avec de l'acide additionné de deux fois son poids d'eau. Le produit plus oxygéné est détruit dans ces conditions; lavée à l'eau et cristallisée, la benzophénone est pure.

On a trouvé pour la densité de vapeur, par le procédé de V. Meyer, dans la vapeur de soufre:

Matière	0 gr. ,144
Volume d'air à 13° et à 713 mm. ,15.....	15 cc. ,8
Température du baromètre	7°,6

d'où

Densité	6,33
Théorie	6,29

En opérant au rouge sombre dans l'azote, on a trouvé:

Matière	0 gr. ,0986
Azote à 11° et 737 mm. ,5.....	12 cc. ,9
Température du baromètre	6°,7

d'où

Densité	6,4
---------------	-----

La forme cristalline a d'ailleurs été trouvée identique avec celle de la benzophénone provenant de la distillation du benzoate de calcium.

En opérant comme on vient de l'indiquer, on n'a obtenu que des traces d'acide bonzoïque. Afin d'en obtenir davantage et de mettre ainsi en évidence les deux phases de la réaction, on a essayé de mettre la benzine en présence d'une plus forte proportion d'oxychlorure de carbone. On y a réussi en condensant ce gaz dans la benzine refroidie. On ne peut pas de prime abord¹ refroidir la benzine au-dessous de son point de cristallisation; mais; à mesure qu'elle se charge d'oxychlorure, son point de fusion s'abaisse, et finalement elle peut rester liquide dans un mélange de glace et de sel marin. Il n'y a donc aucune limite à la quantité d'oxychlorure qu'un poids donné de benzine peut condenser. On peut aussi concentrer une solution étendue d'oxychlorure de carbone dans la benzine en faisant cristalliser une

¹ de prime abord = at first.

partie du dissolvant par un froid énergique. Presque tout l'oxychlorure reste dans la partie liquide.

L'absorption de l'oxychlorure par le toluène et par le xylène se fait dans des conditions encore plus favorables. Il est facile d'obtenir l'oxychlorure liquide pur en se servant pour le condenser tout d'abord d'un hydrocarbure à point d'ébullition élevé et distillant ensuite la solution pour recueillir l'oxychlorure dans un récipient refroidi à zéro.

Pour essayer d'obtenir l'acide benzoïque, on a pris 200 grammes de benzine tenant en dissolution 110 grammes d'oxychlorure de carbone et l'on y a ajouté successivement par petites portions, 72 grammes de chlorure d'aluminium. La réaction a commencé à la température ordinaire et s'est continuée sans dégagement de chaleur. Le dégagement d'acide chlorhydrique a été tout à fait régulier. La fiole où se faisait la réaction a été refroidie avec de l'eau dans laquelle on mettait de temps à autre un morceau de glace, pour diminuer autant que possible l'entraînement de l'oxychlorure par l'acide chlorhydrique. Si l'on vient à refroidir jusqu'à zéro, on arrête la réaction. Celle-ci a duré en tout vingt heures. Au bout de ce temps, l'addition d'une nouvelle portion de chlorure d'aluminium n'a plus provoqué de réaction. Le produit a été traité par l'eau et la benzine surnageante lavée avec la potasse, puis celle-ci a été distillée pour isoler la benzophénone. On a obtenu ainsi 76 grammes de benzophénone presque pure et 2 grammes d'un produit bouillant plus haut. On n'a trouvé que des traces d'acide benzoïque.

Le rendement en benzophénone a été relativement plus grand dans une autre opération où l'on a employé de la benzine beaucoup moins chargée d'oxychlorure.

Lorsqu'on a soin de ne pas laisser la réaction s'achever complètement, on obtient un résultat plus favorable au point de vue de l'acide benzoïque, quoique la proportion de ce dernier ne soit jamais bien considérable.

On a laissé réagir pendant quarante-cinq minutes 30 grammes de chlorure d'aluminium sur le liquide obtenu en extrayant par cristallisation 115 grammes de benzine de la solution de 25 grammes d'oxychlorure dans 200 grammes de benzine, après quoi

on a ajouté de l'eau. La benzine surnageante, même après avoir été chauffée avec de l'eau, possédait l'odeur du chlorure de benzoyle. Une petite quantité traitée par l'alcool a donné l'odeur caractéristique de l'éther benzoïque. On a pu extraire 0 gr. ,55 d'acide benzoïque de la liqueur aqueuse et de la solution obtenue en agitant de la benzine avec de la potasse, acidulant la liqueur et reprenant par l'éther.

Cet acide fondait à 120°8 et distillait à 243°-245°. Son sel d'argent a donné :

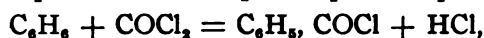
Matière	0 gr. ,2445
Argent	0 ,116

ou, en centièmes, 47,44 ; théorie, 47,15.

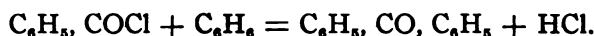
La quantité de benzophénone obtenue en même temps était d'environ 12 gr.

On voit que, comme on pouvait le prévoir, la condition essentielle pour obtenir de l'acide benzoïque est d'interrompre la réaction avant que tout le chlorure de benzoyle ait eu le temps de réagir sur la benzine avec l'aide du chlorure d'aluminium.

La réaction peut donc être exprimée par les équations



et



La benzophénone ayant été traitée à une température allant jusqu'à 220°, par le chlorure de carbonyle en présence du chlorure d'aluminium, n'a pas donné d'anthraquinone. On n'a réussi à isoler aucun autre produit que la benzophénone.

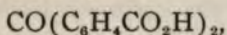
MM. Ador et Rillet, opérant de même avec le toluène et l'oxychlorure de carbone, ont obtenu une diméthylbenzophénone



et, comme produit intermédiaire, le chlorure d'un acide méthylbenzoïque qui n'est autre que l'acide paratoluïque. L'acétone paraît être identique avec la diméthylbenzophénone de MM. Weller, Fischer et Hepp. Elle bout à 333°-333,5 et cristallise à 92°. Ils l'ont transformée, par l'action de l'acide iodhydrique et du phosphore, en ditolylméthane et ont reconnu que ce corps est cristallisable, fond à 22°-23° et bout à 285,5-286,5.

Il fournit un dérivé bibromé fondant à 215° et un dérivé binitré fondant à 164° , comme le corps préparé par M. Weller.

Par l'oxydation, la diméthylbenzophénone donne un acide toluylbenzoïque fondant à 228° , volatil sans décomposition, et un acide benzophénone-dicarbonique



fondant et se sublimant au-dessus de 300° .

Par fusion de l'acétone avec la potasse, on obtient aussi l'acide paratoluique.

NOUVELLES MÉTHODES GÉNÉRALES D'HYDROGÉNATION ET DE DÉDOUBLEMENT MOLÉCULAIRE BASÉES SUR L'EMPLOI DES MÉTAUX DIVISÉS.

PAR MM. PAUL SABATIER ET J. B. SENDERENS.

(*Paul Sabatier, doyen de la Faculté des Sciences de Toulouse.*)

Annales de Chimie et de Physique, 1905, 8th Series, Vol. 4.

GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTHODES.

Le principe des nouvelles méthodes que nous avons instituées consiste dans l'action catalytique spéciale qu'exercent sur les composés volatils certains métaux agissant sous forme très divisée, tels qu'on les obtient en réduisant leurs oxydes par l'hydrogène. Ce sont, par ordre d'activité décroissante, le nickel, le cobalt, le fer, le cuivre.

Nous avons étudié fréquemment, à côté de ces métaux, le platine divisé (mousse ou noir). Nous avons plus particulièrement employé comme noir de platine celui qu'on prépare en traitant par la grenaille de zinc une solution chlorhydrique de chlorure platinique et séchant à froid le produit bien lavé.

Les autres métaux étant oxydables et même pyrophoriques à l'air, doivent être préparés dans l'appareil même où leur action devra se produire. Tout accès de l'air agirait sur leur surface pour les oxyder et détruirait ou diminuerait leur activité catalytique.

Pour les préparer, il convient de partir d'un oxyde bien privé

de chlore ou de soufre. On arrive à de très bons résultats en produisant les nitrates par dissolution directe du métal dans l'acide azotique pur, et formant ensuite les oxydes par calcination des ces nitrates au rouge sombre.

La réduction de l'oxyde sera faite au moyen d'hydrogène pur, où il importe qu'il n'y ait aucune trace de produit sulfuré ou chloré.

Cette réduction doit avoir lieu à des températures basses, toujours inférieures au rouge, sous peine de diminuer beaucoup l'activité catalytique du métal ou même de l'annuler.

Le nickel réduit au rouge n'agit presque pas, tandis que celui qui est réduit au-dessous de 300° possède une activité extrême qui s'use trop vite; il est préférable, le plus souvent, de préparer le nickel vers 350° . La température de 300° est très convenable pour le cuivre. Pour le cobalt, il faut pratiquement opérer vers 400° . Avec le fer, la réduction est beaucoup plus difficile; à 450° , il faut poursuivre l'action de l'hydrogène pendant 6 à 7 heures pour arriver à la transformation complète de l'oxyde en métal.

Le nickel et le cuivre réduits sont non seulement beaucoup plus aisés à préparer que le fer et le cobalt, mais ils présentent en outre cet avantage que, leurs oxydes étant nettement réduits au-dessous de 200° , il n'y aura pas, dans les hydrogénations réalisées au-dessus de cette température, à tenir compte des oxydations légères qu'ils pourraient subir du fait de traces d'oxygène introduites par la matière qu'on hydrogène, ou diffusées au travers des tubes de caoutchouc. L'oxyde, s'il s'était formé, ne pourrait subsister et régénérerait le métal avec formation d'eau.

Pour le fer, la lenteur de la réduction serait un obstacle réel à son utilisation pratique comme métal catalyseur, si son emploi avait des avantages; mais, au contraire, il est dans tous les cas beaucoup moins actif que le nickel.

Appareil Employé Pour les Hydrogénations.—L'appareil que nous avons employé pour les hydrogénations au moyen des métaux réduits comprend:

- 1° Un générateur d'hydrogène pur;

2° Un tube laboratoire¹ contenant le métal réduit qui doit déterminer l'hydrogénation ;

3° Un dispositif permettant d'introduire avec l'hydrogène la substance qui doit subir l'hydrogénation ;

4° Un dispositif destiné à recueillir les produits de la réaction.

1° *Générateur D'Hydrogène*.—Nous employons habituellement pour produire l'hydrogène de grands appareils continus de Sainte-Claire-Deville, constitués par des flacons de 10 à 15 litres, dont les tubulures inférieures sont reliées par un long tube de caoutchouc de gros diamètre. L'un des flacons est maintenu à peu près plein de grenaille de zinc ordinaire : l'autre reçoit de l'acide chlorhydrique pur du commerce, additionné d'un demi-volume d'eau. Le gaz dégagé traverse un laveur contenant une solution assez concentrée de soude caustique, puis un laveur à acide sulfurique concentré dont le tube de sûreté porte une graduation indiquant la pression atteinte par le gaz. Entre ces deux laveurs est interposé un robinet à vis permettant de faire varier à volonté le débit du gaz. Au delà du laveur à acide sulfurique, le tube de caoutchouc qui emporte le gaz est muni d'une pince à vis, que l'on serre plus ou moins, de manière à régler la pression dans ce laveur. Il suffit, pour obtenir un débit constant, de maintenir toujours identique la hauteur de l'acide soulevé dans le tube de sûreté qui sert de manomètre. La grande dimension des appareils permet de conserver ce débit invariable pendant au moins 6 à 7 heures.

L'hydrogène traverse ensuite un tube en verre d'Iéna rempli de tournure de cuivre chauffée au rouge, qui arrête la majeure partie des impuretés du gaz. La purification se trouve complétée par le passage au travers d'un long tube rempli de fragments de potasse caustique, qui arrête les vapeurs acides ainsi que l'hydrogène sulfuré provenant du tube à cuivre, et au sortir duquel l'hydrogène pur et suffisamment desséché se trouve dirigé de suite vers le tube à réactions.

2° *Tube à Réactions*.—Ainsi que nous l'avons dit plus haut, le métal catalyseur doit être produit dans le tube même où s'opèrera son action. Dans un tube de verre plus ou moins long (0 m., 65

¹ tube laboratoire = reaction tube.

à 1 m.), de 14 mm. à 18 mm. de diamètre intérieur, on dispose, sur une longueur plus ou moins grande (0 m., 35 à 0 m., 80), une trainée peu épaisse de l'oxyde qui doit servir à préparer le métal catalyseur. Le tube est généralement chauffé sur une grille analogue à celles qu'on emploie pour les analyses organiques, mais où les becs Bunsen sont munis de sorte d'éventails à petits trous, de manière à donner une série de petites flammes égales entre elles et très rapprochées qui repartissent bien la chauffe. Le tube est couché dans une rigole de tôle hémicylindrique, où il repose sur une couche assez épaisse de magnésie calcinée ou de sable fin. La température est indiquée très simplement par un thermomètre en verre vert gradué jusqu'à 450°, qui est couché dans la rigole à côté du tube et dont on peut faire varier la position pour vérifier l'uniformité de l'échauffement.

Pour certaines déterminations plus précises, nous nous sommes servis d'une étuve parallélépipédique en cuivre (longueur 0 m., 65, largeur 0 m., 15, hauteur 0 m., 12), dont le centre est traversé de part en part par un tube horizontal de cuivre, à l'intérieur duquel on dispose, à côté d'un thermomètre, le tube renfermant déjà la trainée de métal réduit, préparé auparavant par chauffe sur une grille. Un régulateur métallique de température, placé dans un tube de cuivre parallèle au premier à l'intérieur de l'étuve, agit sur le gaz qui alimente la rampe de chauffage et permet de maintenir à une température déterminée, uniforme et invariable, le liquide que contient l'étuve et, par conséquent, le tube à réactions. Ce liquide peut être de l'huile ou pour les températures supérieures à 250°, le mélange à poids égaux de nitrates de potassium et de sodium, qui est liquide à partir de 225°.

Le chauffage sur la grille est moins régulier, mais il offre l'avantage de laisser voir dans l'intérieur du tube.

3° Introduction de la Substance.—Le mode d'introduction de la substance qui doit subir l'hydrogénation varie nécessairement selon son état physique.

Si c'est un gaz (éthylène, acétylène, propylène, oxyde de carbone, anhydride carbonique, oxyde azotique ou azoteux), le bouchon antérieur du tube à métal est muni d'un tube à fourche, dont l'une des branches amène l'hydrogène, l'autre le gaz qui doit

être transformé. Celui-ci est fourni soit par un appareil continu (acétylène, anhydride carbonique), soit par un gazomètre en métal ou en verre où on l'a emmagasiné à l'avance, soit même par un appareil discontinu, quand la réaction qui fournit le gaz est suffisamment régulière (éthylène, oxyde azotique). Un dispositif avec laveur indicateur de pression, compris entre un robinet à vis et une pince à vis, permet, comme pour l'hydrogène (p. 325), de débiter le gaz avec une vitesse constante bien exactement réglée: dans le cas où le gaz est produit par un appareil discontinu, on ménage, à l'aide d'un tube plongeant à une certaine profondeur dans du mercure, une sorte de soupape de sûreté qui permet à l'excès de gaz de s'échapper.

La jonction entre le tube qui amène le gaz et le tube à fourche ne se fait qu'au moment de l'expérience et seulement après qu'on s'est assuré de la pureté du gaz débité. Elle doit avoir lieu en évitant toute rentrée d'air à l'intérieur de l'appareil: on y parvient aisément par une manoeuvre simple sur laquelle il est inutile d'insister.

On a beaucoup plus souvent à hydrogéner des corps liquides à la température ordinaire. Si le liquide est très volatil à froid (benzène, éthanal, propanal, peroxyde d'azote), on peut se contenter de l'introduire au moment de l'expérience, après la réduction de l'oxyde, dans un laveur qui était déjà traversé par l'hydrogène: ce dernier, barbotant au travers du liquide, se sature de sa vapeur et la conduit ainsi au contact du métal.

Dans l'immense majorité des cas, la dose de vapeurs entraînée ainsi par le courant d'hydrogène serait extrêmement faible et souvent à peu près nulle. Dans ce cas, pour arriver à l'introduction régulière des vapeurs du corps, nous avons imaginé un dispositif d'une extrême simplicité. On se sert d'un tube capillaire pour conduire le liquide de l'extérieur à l'intérieur du tube chauffé. Le liquide à hydrogéner est placé dans un tube vertical dont le fond est fermé par un bouchon que traverse la branche verticale d'un tube capillaire, dont la branche horizontale s'engage dans le bouchon antérieur du tube à métal.

Pour un liquide donné, l'écoulement est d'autant plus rapide que le diamètre du tube capillaire est plus grand, et que la hauteur

froide, de la glace, ou un mélange de glace et de sel marin. Les gaz qui sortent de la deuxième branche du tube sont recueillis sur l'eau, où l'on peut évaluer leur vitesse.

Si, parmi les produits qui prennent naissance, il existe des corps solides à la température ordinaire, ceux-ci doivent être condensés dans la portion postérieure du tube, maintenue froide, au delà du métal catalyseur. Le tube doit être alors très long, de manière à dépasser beaucoup la dimension de la grille, et il faut le maintenir incliné, pour que les liquides condensés dans la partie froide du tube ne reviennent pas vers le métal.

Analyses Des Gaz.—Les analyses très nombreuses des mélanges gazeux que nous avons été amenés à faire au cours de ces travaux, ont été conduites selon les méthodes indiquées par M. Berthelot. Les mesures et transvasements de gaz étaient généralement effectuées sur la cuve à mercure profonde de Doyère à l'aide de pipettes à boule mobile et à robinets, dites pipettes de Salet. L'application des divers réactifs absorbants se faisait par absorption du gaz à l'intérieur des pipettes, dont chacune était spécialisée pour un réactif déterminé. Seul le dosage total des carbures éthyléniques était pratiqué par le brome sur la cuve à eau, selon la marche recommandée par M. Berthelot.

Les réactifs absorbants employés étaient :

Pour l'anhydride carbonique, la potasse ;

Pour l'oxyde de carbone, la solution chlorhydrique de chlorure cuivreux ;

Pour l'acétylène, la solution ammoniacale de chlorure cuivreux ;

Pour les carbures éthyléniques autres que l'éthylène, ainsi que pour les vapeurs d'alcool ou d'eau, l'acide sulfurique concentré ;

Pour les carbures forméniques supérieurs¹, l'alcool absolu bouilli ;

Pour l'oxygène (contrôle des combustions eudiométriques), le pyrogallate de potassium.

Les combustions eudiométriques par étincelle ont été réalisées dans l'eudiomètre de M. Riban.

¹ carbures forméniques supérieurs = higher paraffine hydrocarbons.

Durée de L'Activité du Métal Catalyseur.—L'action des métaux divisés issus de la réduction de leurs oxydes est comparable dans une certaine mesure à celle des ferments vivants. Comme pour ces derniers, elle comporte trois phases, une période initiale où le catalyseur s'habitue à sa fonction, une période de fonctionnement normal, enfin une période de déclin aboutissant à la mort du ferment.

La première période est un état variable qui est généralement de courte durée: elle correspond sans doute à la modification superficielle que subit le métal, lorsque, à l'atmosphère d'hydrogène pur qui l'entourait, on substitue celle des vapeurs de substance transformable mélangées ou non d'hydrogène.

La seconde période, fonctionnement normal, est généralement très longue et serait indéfinie s'il n'y avait dans le système régissant aucune trace de matière capable d'altérer en quelque manière la surface du métal. Dans la pratique, avec de l'hydrogène bien purifié, l'hydrogénation de substances pures très volatiles a pu être réalisée pendant un temps extrêmement long par le même nickel réduit, sans aucune fatigue appréciable. Ainsi le même tube à nickel a pu, pendant plus d'un mois, réaliser la transformation du benzène en cyclohexane, l'opération étant interrompue chaque soir, reprise le lendemain matin; la légère oxydation, qu'avait subie le métal pendant le repos de la nuit dans le tube refroidi, n'avait aucun inconvénient, parce que l'oxyde était de nouveau réduit par l'hydrogène à la température de 180° où la réaction était poursuivie.

Un même nickel a pu pendant plusieurs semaines effectuer la transformation du phénol en cyclohexanol, à 200°.

La fonction du métal catalyseur peut, au contraire, être très rapidement diminuée et même supprimée complètement, s'il y a dans l'hydrogène ou dans la substance traitée des traces de certaines matières, qui constituent de véritables poisons pour ce ferment minéral. Le chlore, surtout le brome et l'iode, le soufre, même à doses excessivement minimes, paralysent toute action du nickel réduit.

Le nickel obtenu par la réduction d'oxydes qui contiennent un peu de chlore, est à peu près dépourvu d'activité catalytique. Il

en est de même du nickel préparé à partir d'un oxyde souillé¹ d'un peu de sulfure. la présence dans l'hydrogène de faibles traces d'acide chlorhydrique, d'hydrogène sulfuré ou sélénié, produit les mêmes effets désastreux et amène très rapidement l'inactivité catalytique du nickel.

Des traces de brome dans le phénol soumis à l'hydrogénation ont paralysé très rapidement l'aptitude catalytique du nickel réduit, qui n'a donné aucune formation de cyclohexanol. Il en est de même des traces de produits thiophéniques dans le benzène ou le toluène.

Le cuivre réduit est un agent catalyseur beaucoup moins actif que le nickel, mais il est bien moins sensible aux influences toxiques qui agissent si violemment sur ce dernier métal.

Pratiquement, après une période d'activité plus ou moins longue, on trouve que le ferment minéral s'affaiblit: il vieillit, et ce vieillissement est indiqué par une diminution dans la proportion de matière transformée. La cause de cet affaiblissement, comparable au moins, en apparence, au vieillissement des ferments organisés, est certainement l'altération légère et progressive subie par la surface des grains du métal catalyseur; soit que des traces de chlore, de brome, d'iode, de soufre apportées par l'hydrogène ou par les substances mises en réaction, aient été fixées sur le métal qui arrive ainsi à perdre toute activité; soit plutôt que, sous l'action prolongée de la matière organique transformée, le métal ait subi une carburation progressive, qui, à partir d'une certaine limite, atténue sa puissance catalytique; soit enfin, qu'un léger dépôt de substance charbonneuse ou goudronneuse se soit produit peu à peu sur la surface de chaque grain rendant de plus en plus difficile le contact nécessaire entre le métal et les gaz dont il doit déterminer la transformation.

Quand on dissout dans l'acide chlorhydrique dilué le nickel fatigué, on constate toujours, en même temps que la mise en liberté de gaz fétides riches en hydrocarbures, le dépôt d'une certaine dose de matières brunes charbonneuses.

De même, le cuivre réduit qui a servi pendant plusieurs semaines à provoquer la transformation du nitrobenzène en aniline

¹ souillé = contaminated.

par hydrogénation directe, retient une assez forte proportion de produits goudronneux, dont l'accumulation affaiblit sa puissance catalytique.

On conçoit qu'un affaiblissement analogue ait lieu, lorsque la réaction provoquée par le métal donne naissance à une substance peu ou point volatile à la température du tube, qui, par suite, imprègne plus ou moins vite la surface du métal actif et l'empêche d'accomplir son action régulière. C'est ce qui a lieu dans l'hydrogénation de l'aniline en présence du nickel à 190° , la réaction donnant lieu, en même temps qu'à la cyclohexylamine bouillant à 134° , à deux autres amines peu volatiles, la dicyclohexylamine et la cyclohexylaniline qui, ne bouillant qu'au-dessus de 250° , sont difficilement entraînées par l'excès d'hydrogène et demeurent en partie à l'état liquide au contact du nickel.

Pour éviter les effets de cette nature, il faut veiller avec soin à ce que dans les diverses réactions que l'on opère, le métal ne soit jamais mouillé par un afflux excessif du liquide que l'on traite, ou à la suite d'un abaissement accidentel de la température du tube. Dans la préparation du cyclohexanol et de ses homologues, à partir du phénol ou des crésols, préparation réalisée à température peu supérieure aux points d'ébullition de ces derniers corps, il arrive parfois que le nickel est mouillé, et aussitôt il est devenu à peu près inactif, parce que la surface du métal est sans doute modifiée d'une façon permanente au contact du crésol ou du phénol liquides.

Choix de la Température de Réactions.—L'action catalytique des divers métaux divisés doit être habituellement exercée dans des limites définies de température, variables selon chaque réaction et selon la nature du métal. Pratiquement, une limite inférieure de la température du métal se trouve imposée par la nécessité de maintenir à l'état de vapeur dans le tube à réactions les produits à transformer ainsi que ceux qui résultent de leur transformation.

Dans une certaine limite, l'accroissement de la température a l'avantage d'accélérer la réaction et, par suite, d'augmenter la proportion de matière transformée pendant la traversée du tube. Mais au delà d'une certaine valeur, parfois assez rapprochée de

la température où commence la réaction, il y a fréquemment une modification profonde du phénomène.

Particulièrement dans les réactions d'hydrogénation réalisées avec le nickel, une température trop élevée conduit à la prédominance de l'action catalytique propre que le métal seul exerce sur les produits de la réaction, et cette dernière action est souvent destructive ou inverse de la réaction d'hydrogénation que l'on veut accomplir. Ainsi, la fixation d'hydrogène sur le benzène en présence du nickel réduit a lieu facilement quand ce métal est maintenu entre 70° et 240°. Mais, si l'on élève sa température vers 300°, le cyclohexane formé est dédoublé avec régénération de benzène et de méthane selon la formule



La réaction de l'hydrogène sur le benzène à 300° se borne donc à une production de méthane.

Il est donc absolument nécessaire d'opérer à des températures bien déterminées : mais l'intervalle de températures dont on dispose pour effectuer la réaction utile est généralement assez étendu pour que celle-ci puisse être facilement conduite dans un tube chauffé directement sur une grille à combustions comme il a été dit antérieurement.

D'une façon générale, les réactions qui peuvent être accomplies indifféremment par les divers métaux réduits ne sont provoquées par le cuivre qu'à une température plus haute que par le nickel : pour le cobalt, les températures sont intermédiaires.

Explication de L'Activité Catalytique des Métaux Divisés.—

Les actions que peuvent provoquer par catalyse les métaux divisés sont très nombreuses et de nature variée. Il serait sans doute téméraire de les attribuer à une cause unique. Sans doute, plusieurs d'entre elles se rattachent à des mécanismes distincts, mais, dans chacun d'eux, l'énorme surface du métal actif doit intervenir nécessairement. L'activité est, en effet, en relation intime avec l'importance de cette surface, qui est immense dans le cas des métaux réduits, surtout quand ils ont été préparés par réduction à température peu élevée d'oxydes légers. Avec les métaux en limailles ou les métaux réduits compacts obtenus au rouge, les phénomènes de catalyses sont très peu importants.

Nous pensons que toutes ces actions peuvent s'expliquer par la production de composés intermédiaires instables formés sur la surface des métaux.

Ainsi, les hydrogénations sont faciles à interpréter par la formation d'un hydrure de nickel, de cobalt, de cuivre ou de platine, lequel, aussitôt engendré, réagit sur la matière volatile qui se trouve à son contact. Le métal régénéré s'unit de nouveau à l'hydrogène; l'hydrure recommence son action et la fixation d'hydrogène se poursuit ainsi indéfiniment si l'on continue à faire arriver sur le métal de l'hydrogène et de la matière hydrogénable. On conçoit, dès lors, que les divers hydrures aient des aptitudes inégales et que certaines réactions soient l'apanage exclusif de quelques-uns d'entre eux. On s'explique ainsi pourquoi le platine et le cuivre, qui hydrogènent bien les carbures acétyléniques ou éthyléniques, sont incapables de fixer l'hydrogène sur le noyau aromatique, tandis que le nickel effectue aisément cette dernière fixation. Une théorie, basée sur une simple condensation physique, ne pourrait, en aucune manière, rendre compte de ces différences.

Les enlèvements d'hydrogène, tels que le dédoublement des alcools primaires ou secondaires en aldéhydes ou acétones, peuvent être expliqués par la même formation d'hydrures métalliques, engendrés aux dépens des alcools et détruits aussitôt avec régénération du métal et élimination d'hydrogène libre. La réaction inverse de l'hydrogène sur l'aldéhyde ou sur l'acétone formée doit nécessairement avoir lieu en même temps dans une certaine mesure, mais elle est peu importante dans ce cas, parce que les vapeurs d'alcool sont en excès par rapport à l'hydrogène.

Il y aurait certainement un grand intérêt à étudier quantitativement les conditions d'équilibre d'un tel système: on en déduirait peut-être des indications précieuses sur la nature intime de ces phénomènes si curieux.

C'est peut-être à des formations temporaires d'acétylénures instables qu'il convient de rapporter les réactions de destruction violente ou de condensation moléculaire auxquelles donne lieu l'action des divers métaux réduits sur l'acétylène.

De même, la production de nickel carbonyle ou de cobalt car-

bonyle, instables dans les conditions expérimentales où l'on opère, semble intervenir dans les réactions où les oxydes de carbone existent à côté du nickel ou du cobalt réduits.

LES CATALYSEURS BIOCHIMIQUES DANS LA VIE ET DANS L'INDUSTRIE.

PAR JEAN EFFRONT,

Professeur à l'université Nouvelle et Directeur de l'Institut
des Fermentations de Bruxelles.

Action de la Lumière sur les Matières Albuminoïdes.—Une solution de peptone stérilisée subit des transformations très profondes quand on l'expose, à la température ordinaire, à l'action de la lumière. Les produits biurétiques disparaissent graduellement; il se forme d'abord des acides aminés, qui se décomposent ensuite en ammoniaque et en acides volatils, et ces corps, à leur tour, s'oxydent lentement, pour former, finalement, des nitrates et de l'acide carbonique. Ce phénomène se résume donc en une minéralisation de la substance azotée la plus complexe, celle de la matière albuminoïde; on est en présence d'une désagrégation analogue à celle qui se fait dans la nature quand on abandonne à elle-même une protéine quelconque: sous l'action des nombreux microorganismes de la putréfaction, la substance se solubilise, se décompose, se transforme en corps de plus en plus simples, dont les formes ultimes sont le CO_2 , l' H_2O , le NH_3 , et l' N .

Quelle est la cause initiale de ce phénomène? Si l'on remarque que la solution de peptone se conserve intacte quand on la protège de l'action de la lumière, on est tout de suite conduit à rapporter les transformations constatées, à l'influence photochimique des rayons solaires et à classer ces réactions dans le même groupe que celles étudiées par D. Berthelot, et qui sont directement provoquées par l'action des rayons ultra-violet.

Cependant, en étudiant de plus près¹ le mécanisme de la dégradation de la peptone, on constate que le travail produit, tout en étant dû à l'action de la lumière, n'en est pas un effet immédiat,

¹ de plus près = more closely.

et qu'il intervient encore un autre facteur très important. En effet, la solution d'albuminoïde exposée au soleil donne une réaction positive avec l'amidon ioduré¹ additionné de sulfate ferreux, ce qui révèle la présence d'eau oxygénée. L'intensité de la réaction est d'ailleurs soumise à de grandes variations: à certains moments, elle est très forte; à d'autres, elle disparaît, pour réapparaître ensuite. Il y a donc dans le liquide formation et destruction successives de peroxyde d'hydrogène: la présence de ce corps peu stable, capable d'agir à la fois comme réducteur et oxydant, laisse supposer que c'est lui qui intervient directement dans l'hydrolyse des albuminoïdes, la lumière ne servant qu'à assurer sa formation.

En fait, l'expérience confirme pleinement cette manière de voir, les solutions de peptone additionnées de H_2O_2 se comportant dans l'obscurité de la même façon que les solutions sans H_2O_2 exposées à la lumière. L'hydrolyse s'amorce,² dans le premier cas, encore plus facilement que dans le second, et les produits en résultant sont identiques dans les deux essais. Ces données nous amènent ainsi à cette conclusion, que l'autolyse de la peptone en présence de lumière est provoquée par l'eau oxygénée formée sous l'influence photochimique, synthèse qu'on sait pouvoir se produire dans ces conditions.

Mais poussons plus loin, et demandons-nous par quelle voie le peroxyde d'hydrogène agit sur les substances albuminoïdes. Nous verrons que tout le travail produit dans la solution de peptone au cours de sa dégradation, jusqu'au stade le plus éloigné, réside dans une hydratation. La molécule albuminoïdique, par fixation d'eau, se dédouble en produits moins complexes, qui eux-mêmes, par hydrolyse, se fragmentent de plus en plus, pour donner finalement des acides amines simples, puis des acides volatils et de l'ammoniaque.

La première idée qui se présente alors à l'esprit est que H_2O_2 , en se décomposant, fournit une molécule d'eau à l'état naissant, douée par conséquent d'une activité spéciale, et que c'est cette eau engendrée qui produit l'hydrolyse. Cette hypothèse exige, comme

¹ l'amidon ioduré = starch iodide solution.

² s'amorce = starts.

nous le verrons dans un chapitre suivant, pour la transformation complète de 100 grammes d'albumine jusqu'au terme ammoniacque, l'intervention de 38 grammes d'eau, c'est-à-dire de 71 grammes H_2O_2 . On constate bien, il est vrai, dans le liquide soumis à l'autolyse, un dégagement d'oxygène, preuve d'une décomposition de H_2O_2 : c'est même pour cette raison qu'au cours du travail de désagrégation, quand on opère à l'abri de la lumière, il est nécessaire d'ajouter H_2O_2 par fraction, et non tout d'un coup. Mais la quantité d'eau fixée pendant l'hydrolyse est toujours considérablement supérieure à la quantité de perhydrol employée dans la réaction. Dans les essais conduits avec soin, on observe souvent un rapport de 8 à 1, c'est-à-dire qu'il se fixe huit fois plus d'eau que celle que H_2O_2 a pu fournir.

Ces faits ne justifient donc aucunement l'hypothèse précédente. Celle-ci est d'autant moins probable, qu'avec une dose donnée d' H_2O_2 , quantité minime qui se conserve dans le liquide pendant un certain temps, on peut provoquer une hydrolyse très marquée, et qu'il n'y a aucune relation directe entre cette quantité d' H_2O_2 employée et le travail produit. On constate ainsi une grande disproportion entre la cause et l'effet, effet qui n'est d'ailleurs pas instantané, mais augmente avec la durée de l'action. En définitive, l'eau oxygénée agit non pas par la molécule d'eau qu'elle peut apporter, mais par sa seule présence.

CATALYSEURS BIOCHIMIQUES.

Les transformations que la lumière fait subir aux matières albuminoïdes, transformations dont nous avons étudié précédemment le mécanisme, présentent un intérêt tout particulier, au point de vue du chimisme de la cellule vivante. En effet, les matières azotées de réserve, ainsi que la substance protoplasmique elle-même, se consomment dans l'organisme en subissant toute une série de transformations, dues à des hydrolyses successives, qui les conduisent aux mêmes produits finaux que ceux qui résultent de l'action de la lumière sur l'albumine. L'analogie entre les deux phénomènes est d'autant plus frappante, qu'elle ne porte pas seulement sur l'identité du travail produit, mais aussi sur les forces mises en jeu pour l'accomplir. Dans le cas de la minéralisation



des matières albuminoïdes en présence du soleil, nous voyons apparaître, sous l'action photochimique, un catalyseur qui provoque la réaction et la dirige dans un sens déterminé. Dans les cellules vivantes, ce sont encore des facteurs de même nature qui interviennent. Sous l'influence des conditions physiques et chimiques du milieu, il se produit, pendant la vie, des catalyseurs biochimiques qui règlent la plupart des réactions cellulaires. Ces corps actifs sont connus sous le nom de diastases. On peut les envisager comme des produits intermédiaires entre la matière vivante et la matière animale. Ce sont des substances organiques à l'état colloïdal; on ne connaît ni leur composition ni leur structure chimique, mais le mécanisme de leur action, leurs caractères généraux et leurs propriétés individuelles sont suffisamment établis pour ne laisser aucun doute sur leur existence.

A l'heure actuelle on possède des données certaines sur un nombre considérable de catalyseurs biochimiques fournissant un travail bien caractérisé. Ces agents agissent, les uns comme oxydants, d'autres comme réducteurs, la plupart comme hydratants. Les catalyseurs biochimiques étant essentiellement spécifiques, ils s'adressent à des corps d'une structure chimique et d'une configuration bien déterminées.

Voici quelles sont les propriétés essentielles et caractéristiques des enzymes :

1. Les enzymes, tout en provoquant une réaction, ne se trouvent point dans les produits résultant de cette réaction : la conséquence de ce fait, c'est qu'avec une quantité minime de diastase on peut réaliser un travail illimité.
2. Les enzymes sont solubles dans l'eau et la glycérine, et sont rendus inactifs quand on porte leurs solutions à une température voisine de 100°.
3. Ces corps se laissent précipiter de leurs solutions, soit par l'alcool, soit par des sels, tels que le sulfate d'ammoniaque ou le sulfate de zinc.
4. Ils se fixent facilement sur la fibrine, la soie, l'élastine, et sont entraînés par différents précipités.
5. Ils sont très sensibles aux conditions physiques et chimiques du milieu.

Beaucoup de ces propriétés rappellent celles des ferments figurés. Les enzymes s'en distinguent cependant, d'abord en ce qu'ils peuvent filtrer, quoique incomplètement, à travers une bougie poreuse, et ensuite parce qu'ils présentent une certaine résistance vis-à-vis des antiseptiques.

6. Il a été parfaitement démontré que quelques diastases sont capables d'exercer une réaction réversible, et il y a tout lieu de penser que toutes sont capables d'agir ainsi lorsque les conditions le leur permettent.

Ces propriétés très curieuses ont été retrouvées chez les catalyseurs minéraux, surtout chez les métaux, à l'état colloïdal, étudiés par Bredig. Cet auteur prépare le platine colloïdal de la façon suivante: on fait jaillir une étincelle électrique, produite par un courant de 8 à 12 ampères sous 30 à 40 volts, dans de l'eau pure, entre deux fils de platine. Sous cette action, le métal se désagrège et le liquide prend une coloration jaune, puis brune: il filtre bien; au microscope, on ne distingue point de particules insolubles; le platine semble donc s'être dissous. Cependant il n'en est pas ainsi, car le liquide ne présente aucune des propriétés physiques des solutions (abaissement du point de congélation, existence d'une pression osmotique, etc.). La matière est simplement dans un état d'extrême division, les particules formées ayant une grosseur évaluée seulement à quelques cent millièmes de millimètre (0,00001 mm.). On a préparé de même des pseudo-solutions d'or, d'argent, de cadmium, d'iridium, etc.

On constate que le platine, ainsi amené à l'état colloïdal, à raison de¹ 1 gr. pour 300000 litres d'eau, possède les propriétés d'une véritable diastase, celle d'une oxydase. Il décompose H_2O_2 , rougit l'aloïne, bleuit le guaïac. Il présente une température optima. Son action est activée par une trace d'alcali, puis diminuée. Certains poisons, comme l'acide cyanhydrique, la ralentissent. Ces propriétés sont identiques à celles des diastases: les unes et les autres se comportent comme des catalyseurs.

Au cours de la vie cellulaire, les différents catalyseurs biochimiques apparus se laissent influencer l'un par l'autre, soit par action directe, soit en raison des produits formés. Le travail

¹ à raison de = at the rate of.

chimique produit dans la cellule est le résultat d'une action très complexe des catalyseurs, qui régularisent leur fonctionnement dans un sens favorable à la vie. Après la mort, les catalyseurs, restant intacts, continuent à agir et sont susceptibles de produire chacun le même effet que dans la cellule vivante; mais l'ensemble du travail n'est plus tout à fait le même, soit au point de vue quantitatif, soit même au point de vue qualitatif. L'équilibre entre les catalyseurs se trouve rompu: de nouvelles réactions entrent en jeu, et l'on observe un travail prédominant seulement dans une certaine direction. C'est ainsi qu'en abandonnant à lui-même un organe mort, en présence d'antiseptique, on détermine une autolyse aboutissant à la dissolution et à la désagrégation complète de cet organe. Au contraire, dans un organisme vivant, les catalyseurs à fonction synthétique, et aussi les anticorps, contrebalancent l'action destructrice des catalyseurs de décomposition, et ce qu'on observe, est un équilibre dynamique résultant du jeu complexe de tous les enzymes.

MÉCANISME D'ACTION DES DIASTASES.

Demandons-nous maintenant de quelle façon agissent les diastases. Il est d'autant moins aisé de répondre à cette question, que la nature même de ces corps nous échappe. Déjà, avec les catalyseurs minéraux, dont la composition nous est connue, nous n'avons pu fournir une théorie générale de leur mode d'action. Ici, la réponse est encore plus difficile à donner.

Tout d'abord, en ce qui concerne la nature même des catalyseurs biochimiques, les avis sont partagés. Les uns envisagent volontiers les diastases, non comme des corps matériels, mais comme une forme particulière de l'énergie, qui se fixerait sur certaines substances, notamment les albuminoïdes. Cette conception des enzymes-forces est plutôt en faveur chez les physiologistes, et semble être, jusqu'ici, plus une vue de l'esprit qu'une expression réelle des faits observés. Les autres au contraire, en plus grand nombre, et formés surtout de chimistes, se rallient à une conception plus positive. Pour eux, les diastases seraient des matières, sinon identiques, du moins voisines des albuminoïdes.

Quelle que soit d'ailleurs la nature même de ces corps, il est

certain qu'il existe un rapport étroit entre les diastases et les albuminoïdes, rapport qui fait que les premières participent dans une large mesure des propriétés des secondes. En particulier, leur sensibilité à la chaleur, qui les détruit en les coagulant, leur changement d'état physique sous l'influence des acides, des bases ou des sels, qui les précipitent ou les redissolvent, et d'autres encore, sont bien là des propriétés qui résultent d'un caractère commun aux diastases et aux protéines, à savoir leur état colloïdal.

On sait que, depuis quelques années, l'étude des colloïdes tient une grande place dans les préoccupations de la chimie physique. Toute une école a abordé la question des diastases de ce point de vue spécial. Bien que d'assez nombreux travaux aient été publiés déjà, l'ensemble, pour intéressant qu'il soit,¹ n'a pas encore abouti à des conclusions bien nettes. Nous rappellerons cependant quelques-uns des faits acquis.

D'une façon générale, les particules colloïdes jouissent de propriétés spéciales, différant, jusqu'à un certain point, de celles des molécules chimiques étudiées sous les autres états. Ces propriétés résultent de deux caractères propres aux colloïdes :

En premier lieu on constate que les particules colloïdales, en suspension dans un liquide, portent une charge électrique ; ce fait peut être mis en évidence par l'orientation que prennent ces particules quand on fait passer un courant dans leur pseudo-solution. Suivant que la substance colloïde est chargée positivement ou négativement, elle se dirigera vers la cathode (cataphorèse) ou vers l'anode (anaphorèse). On peut d'ailleurs apprécier d'une autre façon le signe de la charge : un colloïde électropositif est précipité par un colloïde instable électronégatif, comme une solution de sulfure d'arsenic colloïdal, à 3 %, tandis qu'un colloïde électronégatif est précipité par un colloïde électropositif, comme une solution d'hydrate de fer colloïdal, à 2 %. Ces charges expliquent la sensibilité des colloïdes vis-à-vis des électrolytes, qu'on sait se dissocier en ions lorsqu'ils sont à l'état dissous. Les acides agiront surtout sur les colloïdes électropositifs ; les bases, sur les colloïdes électronégatifs. Les sels agiront soit

¹ pour intéressant qu'il soit = however interesting it may be.

par leur ion acide, soit par leur ion basique. De plus, l'action précipitante variera avec la valence des ions agissants.

Le second caractère tient à l'extrême petitesse des particules colloïdales. On sait qu'à la surface de tous les corps se trouve une couche de molécules qui, par raison de dissymétrie, sont soumises à des forces différentes de celles qui agissent sur les molécules situées à l'intérieur. Or, ici, la couche superficielle prend une importance très grande par rapport à l'ensemble de l'édifice moléculaire. On constate en effet que l'épaisseur de la première est du même ordre de grandeur que le diamètre du second: soit de 20 à 50 millionièmes de millimètre. Mais il y a plus: autour de la particule colloïdale se trouve une couche d'absorption, formée par du liquide adhérent, qui constitue une sorte d'enveloppe isolant la substance colloïde du reste du milieu ambiant.¹ La composition de la couche d'absorption n'est pas toujours la même que celle de la masse du liquide: il peut y avoir, en cette région, concentration des particules dissoutes, ou, au contraire, raréfaction, si bien que la matière considérée, protégée par cette double enveloppe—couche superficielle et couche d'absorption, ne réagira plus comme elle l'aurait fait si elle avait conservé son état normal.

En résumé, les propriétés spéciales à l'état colloïdal résultent:

1. de l'électrification des particules, ce qui, dans une certaine mesure, peut contrarier² les lois chimiques des combinaisons.
2. de l'extrême division de ces particules, ce qui donne une grande importance aux phénomènes de contact.

Voici quelques conséquences de ce qui précède:

La pepsine, comme, d'ailleurs, d'après Iscovesco, le suc gastrique dialysé, ne renfermant que des colloïdes électropositifs, se comportera dans l'expérience suivante: au fond d'un tube en U on verse de l'ovalbumine, qu'on coagule sur place; puis, par-dessus, dans chaque branche, on met une solution de pepsine chlorhydrique. On fait passer un courant électrique de 0,3 à 0,6 voltcentim. et de 0,0001 à 0,0005 ampère, et l'on constate que, déjà au bout d'une heure, l'ovalbumine est attaquée du côté (+);

¹ milieu ambiant = surrounding medium.

² contrarier = oppose.

cette attaque augmente et atteint le maximum au bout de huit à neuf heures, tandis qu'il n'y a rien du côté (—). Le courant pousse donc la pepsine, du côté positif, dans l'albumine, qui est en partie solubilisée et peptonisée, tandis que, de l'autre côté, la pepsine s'éloigne de l'albumine pour monter vers l'électrode négative.

Par contre,¹ le suc pancréatique de sécrétine du chien, préalablement dialysé, ne renferme que des colloïdes électronégatifs. Vient-on à mélanger du suc gastrique pur de chien avec du suc pancréatique pur ou dialysé, on constate la formation d'un précipité, qui, d'ailleurs, ne se serait pas produit si l'on avait remplacé le suc gastrique pur par du suc dialysé. C'est qu'en effet le colloïde positif du suc gastrique a formé avec le colloïde négatif du suc pancréatique un complexe soluble dans un milieu neutre, mais qui est insoluble dans un milieu très légèrement acidifié par HCl. Dès lors on sera conduit à admettre que l'action paralysante du suc gastrique sur le suc pancréatique n'est pas due, comme on le dit généralement, à l'acidité du suc gastrique, mais bien, d'après ce qui précède, à la fixation des diastases pancréatiques négatives par les diastases positives du suc gastrique.

Les partisans de la théorie physique ont cherché à expliquer un certain nombre des phénomènes biologiques que nous étudierons dans cet ouvrage. Voici leur manière de voir² en ce qui concerne les antiferments. D'après eux, l'action neutralisante qu'exerce le serum de sang de chien, par exemple, sur le suc gastrique, ne serait pas due à une antipepsine contenue dans ce serum, mais tout simplement à une précipitation du colloïde positif de la pepsine par un colloïde négatif apporté par le sang, précipitation qui rendrait le ferment gastrique inactif, en le fixant dans un complexe insoluble.

Il n'est point jusqu'aux³ phénomènes de coagulation du sang ou du lait qui ne trouve une interprétation du point de vue de la chimie des colloïdes. D'après Iscovesco, le sang renferme des serumalbumines: l'une (+), l'autre (—), et deux globulines:

¹ par contre = on the contrary.

² manière de voir = point of view.

³ il n'est point jusqu'aux = even the.

l'une (+), l'autre (—). Or, tandis que le plasma contient des globulines (+) et (—), le serum ne contient que des globulines (+). La coagulation résulterait donc de la précipitation d'un complexe colloïdal, formé par l'union de globulines (+) et (—), complexe qui ne serait autre que la fibrine. Cette coagulation serait due simplement à des agents physiques ou chimiques qui modifieraient ainsi les conditions électriques du milieu.

On voit par ces quelques exemples que ces considérations sont assez suggestives. Sans doute, les données sur lesquelles elles s'appuient sont encore trop incomplètes pour que les explications qu'elles fournissent soient tout à fait satisfaisantes. Mais elles n'en représentent pas moins une orientation nouvelle, donnée aux recherches de biochimie, et, à ce titre, elles méritaient d'être signalées ici.

Guidés par ces considérations générales, essayons, pour finir, de nous faire une idée de la nature et du mode d'action des substances spéciales que sont les diastases.

Une diastase est toujours constituée par une matière protéique renfermant une plus ou moins grande quantité de matière minérale. En solution dans l'eau, elle se comporte comme un colloïde albuminoïde associé à un colloïde minéral. Ce dernier serait en quelque sorte la partie agissante du ferment: c'est, selon l'expression de Bertrand, le coferment. Il aurait pour support le colloïde albuminoïde. La spécificité de l'action, qui comporte évidemment une configuration appropriée du catalyseur correspondant, résulterait de la nature même du coferment. Celui-ci agirait selon le mode des réactions intermédiaires. Quant au colloïde albuminoïde, qui sert à protéger le coferment actif, il ne manquerait pas d'influencer, dans un sens ou dans un autre, les propriétés de l'ensemble, cela en vertu de son état spécial de colloïde. Mais il ne participerait pas à l'action chimique proprement dite: on comprendrait mal, en effet, comment une molécule aussi grosse que l'albumine, douée, par suite, d'une certaine inertie, pût jouer un pareil rôle de facteur de transformation. Les catalyseurs biochimiques diffèrent donc des catalyseurs purement minéraux par une complexité plus grande; il faut peut-être voir dans ce fait la raison d'une adaptation plus parfaite au travail qu'ils doivent

produire et par conséquent l'explication d'une spécificité plus profonde. En effet, tandis qu'à l'aide de l'eau oxygénée on amène toutes les substances azotées dérivées des albuminoïdes, à l'état d'ammoniaque et d'acides volatils, les catalyseurs de la matière vivante ne peuvent pas faire tout ce travail à l'aide d'un seul agent : pour produire cette transformation intégrale, il faut le concours de toute une série de catalyseurs, dont chacun fait un travail strictement déterminé.

Dans le présent ouvrage, nous allons étudier en détail cette hydrolyse progressive de la matière albuminoïde, provoquée par des enzymes différents et aboutissant à la minéralisation complète de la molécule. Mais, avant, il convient de dire comment on peut classer les différents enzymes qui fourniront les stades successifs de ce travail.

MÉTHODE UNIVERSELLE POUR LA DÉTERMINATION DES POIDS MOLÉCULAIRES.

PAR M. F. M. RAOULT,

Professeur de chimie à la Faculté des Sciences de Grenoble.

Annales de Chimie et de Physique, Sixième Série, Tome VIII, 1886.

I.—GÉNÉRALITÉS.

I—Principe de la Méthode.—J'ai déjà donné, il y a quelques années, un moyen de calculer le poids moléculaire des composés organiques solubles dans l'eau, d'après l'abaissement du point de congélation qu'ils y déterminent. De nouvelles études sur le même sujet m'ont permis de généraliser cette méthode, et je suis maintenant en mesure de déterminer le poids moléculaire d'un composé quelconque, aussi bien de matière minérale que de matière organique, pourvu seulement qu'il puisse être dissous dans un liquide capable de se solidifier à une température exactement mesurable.

Si l'on divise l'abaissement du point de congélation C par le poids P de matière anhydre, dissoute dans 100 gr. de dissolvant, on obtient un quotient $\frac{C}{P}$ que j'ai appelé coefficient d'abaissement

brut de la substance dissoute. Quand le corps existe en dissolution à l'état anhydre, et que la loi de Blagden lui est applicable, ce quotient représente l'abaissement du point de congélation produit par 1 gr. de matière dans 100 gr. de dissolvant, et, si on le multiplie par le poids moléculaire M de la substance dissoute, supposée anhydre, on obtient l'abaissement que produirait une molécule de cette substance, si elle était elle-même dissoute dans 100 gr. de dissolvant; c'est-à-dire qu'on obtient son abaissement moléculaire vrai T . On a donc alors

$$(a) \quad T = \frac{C}{P} \times M.$$

Lorsque le corps n'existe pas en dissolution à l'état anhydre et qu'il n'obéit pas à la loi de Blagden, du moins en apparence, son abaissement moléculaire vrai est l'abaissement que produirait, dans 100 gr. de dissolvant, une molécule de ce corps, considéré dans l'état d'hydratation constant qu'il affecte¹ au sein des² dissolutions moyennement concentrées, et alors qu'il n'est ni décomposé ni condensé. J'ai montré, dans le Mémoire qui précède que, pour obtenir correctement l'abaissement moléculaire vrai T , ainsi défini, il suffit de multiplier la valeur de $\frac{C}{P}$ à l'origine par le poids

moléculaire M de la substance anhydre; et j'ai prouvé, à la fin du même mémoire, que, si l'on opère avec des dissolutions assez étendues pour que l'abaissement du point de congélation C soit voisin de 1° , on peut obtenir, par une seule expérience et en appliquant simplement la formule (a) ci-dessus, une valeur suffisamment approchée de l'abaissement moléculaire vrai pour pouvoir lui être substituée sans inconvénient dans la plupart des applications.

L'abaissement moléculaire vrai T , tel qu'on l'obtient par la formule (a), en y introduisant la valeur de $\frac{C}{P}$ à l'origine, est une quantité variable d'un dissolvant à l'autre, mais qui, dans un même dissolvant, reste la même pour des groupes de composés nombreux

¹ qu'il affecte = which it assumes.

² au sein de = in.

et bien définis. Cette quantité T peut donc être considérée comme connue, au moins approximativement. D'autre part, le coefficient d'abaissement à l'origine $\frac{C}{P}$ est, dans chaque cas particulier,

donné par l'une ou par l'autre des deux méthodes que je viens de rappeler. Il résulte de là que la valeur approchée¹ du poids moléculaire M peut être calculée au moyen de la formule.

$$(\beta) \quad M = T \times \frac{P}{C}.$$

Quant à la valeur véritable du poids moléculaire, on l'obtient comme il suit: parmi les poids moléculaires possibles du composé considéré, on cherche quel est celui qui est le plus voisin de la valeur approchée donnée pour M par la formule β et c'est celui-là qui est son poids moléculaire exact.

2—*Dissolvants à Employer.*—Tous les liquides capables de se solidifier à une température exactement mesurable peuvent, comme je l'ai dit, être employés comme dissolvants pour la détermination des poids moléculaires par cette méthode; il suffit pour cela d'y connaître la valeur de T pour divers corps analogues à celui qu'on examine, et c'est à quoi l'on arrive aisément par un petit nombre d'expériences. Mais il est évident que les liquides qu'il faut employer de préférence sont ceux qui sont d'un prix peu élevé et faciles à obtenir à l'état de pureté. L'eau, l'acide acétique et la benzine, qui satisfont à ces conditions et pour lesquels les différentes valeurs de T sont connues d'après mes expériences, doivent être particulièrement recommandés. L'acide acétique et la benzine du commerce sont rarement assez purs pour cet usage, et il est généralement nécessaire de les purifier par plusieurs congélations partielles. On reconnaît d'ailleurs facilement leur pureté au caractère suivant: s'ils sont parfaitement purs, leur température reste constante depuis le commencement de leur congélation jusqu'à la fin; dans le cas contraire, la température baisse à mesure que la congélation fait des progrès. Remarquons, en passant, que la méthode de congélation, si parfaite pour purifier les corps, est en même temps la meilleure pour constater leur pureté.

¹ valeur approchée = approximate value.

De telle sorte qu'on a, par exemple :

Pour NaCl	$T = 16 + 19$	ou 35
K_2CrO_4	$T = 16 \times 2 + 9$	ou 41
$CaCl_2$	$T = 8 + 19 \times 2$	ou 46
Al_2Cl_6	$T = 8 \times 2 + 19 \times 6$	ou 130

J'avais trouvé antérieurement, pour les abaisséments partiels des radicaux salins, les nombres 20, 11, 15 et 8. Ceux que je donne aujourd'hui, et qui en diffèrent légèrement, sont plus exacts ; ils s'accordent presque complètement avec les résultats des expériences les plus correctes, du moins en ce qui concerne les sels dont l'acide et la base ne sont pas tous les deux faibles à la fois. Parmi les sels dont un radical est fort et l'autre faible, je n'en ai trouvé que deux dont l'abaissement moléculaire fût anormal, c'est-à-dire plus faible que ne l'indique la loi précédente ; ce sont le chlorure de cadmium et le chlorure mercurique. Parmi les sels dont l'acide et la base sont tous les deux forts, je n'ai encore trouvé aucune anomalie, bien que j'en aie essayé plus de cinquante.

4—*Valeurs de T Dans la Benzine.*—Dans la benzine employée comme dissolvant, les valeurs des abaisséments moléculaires T sont beaucoup moins nombreuses, elles se réduisent à deux, savoir : $T = 49$ et $T = 25$. L'abaissement moléculaire voisin de 49 appartient à tous les composés organiques qui ne sont ni des alcools, ni des phénols, ni des acides (l'acide picrique excepté). Il appartient également aux chlorures minéraux, tels que les chlorures de soufre, d'arsenic, d'étain, etc. L'abaissement moléculaire voisin de 25 est produit par les alcools les moins élevés dans la série et par les acides.

5—*Valeurs de T Dans l'Acide Acétique.*—Dans l'acide acétique employé comme dissolvant, les abaisséments moléculaires de tous les composés organiques, sans exception, sont compris entre 36 et 40 et sont le plus souvent voisins de $T = 39$. Les chlorures minéraux anhydres, dissous dans l'acide acétique (SCl_2 , $AsCl_3$, $SnCl_4$,), y produisent le même abaissement moléculaire $T = 39$. La loi des abaisséments moléculaires, dans ce dissolvant, est donc tout aussi simple que celle des volumes moléculaires à l'état de vapeur ; elle ne présente pas les mêmes anomalies et,

jusqu'ici, elle n'en a présenté aucune; elle est susceptible de recevoir beaucoup plus d'applications, puisque non seulement l'acide acétique peut dissoudre tous les composés qui sont assez volatils pour qu'on ait pu prendre leurs densités de vapeur, mais qu'il peut encore dissoudre une foule de composés non volatils.

L'application de ces données à la détermination des poids moléculaires est évidemment très simple. Je crois cependant qu'il est utile de donner à ce sujet quelques explications complémentaires, et, pour cela, je considérerai deux cas: celui où le composé considéré est de nature organique et celui où ce composé est de nature minérale.

II.—POIDS MOLÉCULAIRES DES CORPS DE NATURE ORGANIQUE.

I.—*Détermination du Coefficient d'Abaissement.*—Le cas où le corps étudié est de nature organique est le plus simple. On cherche d'abord si ce composé est soluble dans l'eau, dans l'acide acétique, ou dans la benzine. En général, l'eau dissout bien les corps hydroxylés, c'est-à-dire ceux qui renferment un ou plusieurs atomes d'hydrogène alcoolique ou salin; elle dissout mal les hydrocarbures simples ou substitués et les éthers. Au contraire, la benzine dissout mal les corps hydroxylés et bien les hydrocarbures et les éthers. Le pouvoir dissolvant de l'acide acétique participe à la fois de celui de l'eau et de celui de la benzine, tout en se rapprochant davantage de ce dernier; il est, dans tous les cas, extrêmement étendu.

Le dissolvant étant trouvé et choisi, on détermine son point de congélation. D'autre part, on pèse 100 gr. du même liquide dans un flacon; on y introduit un poids P, exactement déterminé et généralement égal à 2 gr. ou 3 gr. de la substance étudiée, on bouche et on agite jusqu'à dissolution complète. Si la substance est liquide, elle est pesée dans une ampoule qu'on brise ensuite dans le flacon par l'agitation. On détermine le point de congélation de la dissolution et, en faisant la différence entre ce point et celui du dissolvant pur, on obtient l'abaissement du point de congélation C du corps dissous. Si on le peut, on fait plusieurs autres expériences avec des dissolutions plus concentrées; on trace la

courbe des $\frac{C}{P}$ et on en déduit la valeur correcte de $\frac{C}{P}$ à l'origine.

Mais, comme je l'ai dit, on peut ordinairement se contenter d'une seule détermination, pourvu que la valeur de C soit voisine de 1°.

La valeur de $\frac{C}{P}$ étant déterminée, il est très facile de calculer la valeur approchée du poids moléculaire M de la substance dissoute.

2. *Calcul du Poids Moléculaire.*—Si l'eau est le dissolvant employé, le poids moléculaire M est, d'après ce qui précède, donné par la formule

$$(7) \quad M = 19 \times \frac{P}{C}.$$

Si l'acide acétique est le dissolvant employé, le poids moléculaire M est

$$(8) \quad M = 39 \times \frac{P}{C}.$$

Si la benzine est le dissolvant employé, et si le corps n'est ni un alcool, ni un phénol, ni un acide (ce dont il est facile de s'assurer), on a

$$(9) \quad M = 49 \times \frac{P}{C}.$$

Lorsque le composé étudié est un alcool, un phénol, ou un acide, l'essai dans la benzine cesse de donner des résultats certains.

Il arrive souvent que le même corps peut se dissoudre dans plus d'un de ces dissolvants. On doit toujours profiter de cette circonstance pour déterminer son poids moléculaire dans deux de ces liquides et se ménager ainsi un moyen de contrôle.¹ Il est clair qu'en cas de désaccord c'est le plus faible des poids moléculaires trouvés qui doit être adopté.

3. *Exemples Divers.*—On sait que la formule moléculaire exacte d'un composé est un multiple entier de la formule la plus simple qu'on puisse lui donner d'après sa composition chimique, et toute la question est de connaître la valeur de ce multiple. On y parvient très aisément, comme je l'ai dit, par la méthode cryos-

¹ se ménager un moyen de contrôle = to obtain a check.

copique, et il n'est même pas besoin pour cela de recourir aux moyens d'observation les plus délicats. Pour le montrer, je rapporterai les résultats que j'ai obtenus, il y a plusieurs années déjà, en opérant sur l'éther; je choisis ce corps parce qu'il est soluble dans les trois dissolvants ci-dessus.

Expérience Faite Dans L'Eau.—Un poids $P = 4$ gr., 47 d'éther est dissous dans 100 gr. d'eau. L'abaissement du point de congélation (déterminé avec un thermomètre divisé en cinquièmes de degrés seulement) $C = 1^{\circ},05$. Le coefficient d'abaissement approché

est donc $\frac{C}{P} = \frac{1,05}{4,47}$ ou 0,23. Or, d'après la formule (γ) ap-

plicable aux matières organiques dissoutes dans l'eau, on doit avoir

$$M = \frac{19}{0,23}.$$

d'où

$$M = 82.$$

Expérience Faite Dans la Benzine.—Un poids $P = 2$ gr., 721 d'éther est introduit dans 100 gr. de benzine. L'abaissement du point de congélation qui en résulte pour la benzine (mesuré avec un thermomètre divisé en vingtièmes de degré) est $C = 1^{\circ},826$.

Le coefficient d'abaissement approché est, d'après cela $\frac{C}{P} = \frac{1,826}{2,721}$

ou 0,671. On a donc, d'après la formule (ϵ) applicable au cas actuel,

$$M = \frac{49}{0,671},$$

d'où

$$M = 73.$$

Expérience Faite Dans L'Acide Acétique.—Un poids $P = 1$ gr., 510 d'éther, dissous dans 100 gr. d'acide acétique, détermine un abaissement du point de congélation $C = 0^{\circ},800$ (même thermomètre que dans la benzine). Le coefficient d'abaissement ap-

proché est donc $\frac{C}{P} = \frac{0,800}{1,510}$ ou 0,529; ce qui donne en vertu de

la formule (δ) relative à l'acide acétique,

$$M = \frac{39}{0,539},$$

d'où

$$M = 74.$$

Ces trois déterminations approximatives, faites dans des solvants différents, montrent que le poids moléculaire de l'éther doit être voisin des nombres 82, 73 et 74.

D'autre part, les considérations chimiques montrent que le poids moléculaire exact de l'éther correspond à la formule équivalente C_4H_8O , ou à un multiple entier de cette formule; il est donc nécessairement représenté par l'un des nombres 37, 74, 111, etc. Or, parmi ces derniers, 74 est évidemment le plus rapproché de 82 trouvé dans l'eau, de 73 trouvé dans la benzine, et de 74 trouvé dans l'acide acétique. C'est donc certainement 74 qui est le véritable poids moléculaire de l'éther, et c'est, par conséquent, $C_8H_{16}O_2$ qui est la véritable formule de ce composé en équivalents.

4—*Accord des Résultats Avec les Formules Modernes.*—Sur environ 150 composés organiques de toute espèce, sur lesquels j'ai expérimenté comme il vient d'être dit, il n'en est point¹ dont le poids moléculaire, ainsi trouvé, ait été quelque peu incertain. Aucun d'eux n'a présenté d'anomalies, même parmi ceux qui, comme l'hydrate de chloral, possèdent une densité de vapeur anormale. Les seules substances organiques pour lesquelles j'aie trouvé un poids moléculaire différent de celui qui est généralement adopté sont la morphine et l'iodoforme. D'après l'abaissement qu'elle produit dans l'acide acétique, la morphine doit avoir pour formule atomique $2(C_{17}H_{19}AzO_3)$, au lieu de $C_{17}H_{19}AzO_3$ qui est généralement admise; c'est d'ailleurs une observation que M. Wright a déjà faite (Chem. Soc. Jour., 2 série, t, XII). Quant à l'iodoforme, d'après l'abaissement qu'il produit dans la benzine, sa formule doit être également doublée et écrite $2(CHI_3)$, au lieu de CHI_3 que tout le monde écrit aujourd'hui, par analogie avec celle du chloroforme $CHCl_3$.

L'accord presque complet qu'on remarque entre les poids moléculaires, que j'ai déterminés jusqu'ici par la méthode cryosco-

¹ il n'en est point = there is none.

que, et ceux qui sont adoptés par les chimistes modernes, est d'ailleurs tout naturel; il résulte de ce que, préoccupé avant tout de fonder ma méthode sur des bases solides, je n'ai guère expérimenté jusqu'à présent que sur des composés dont le poids moléculaire est bien établi. Il en sera, sans doute, plus d'une fois autrement, lorsque viendra l'étude des corps non volatils, encore incomplètement étudiés ou réfractaires aux substitutions simples.

5—*Généralité de la Méthode.*—Remarquons, en terminant ce sujet, qu'il est fort peu¹ de matières organiques dont le poids moléculaire ne puisse être fixé par cette méthode, puisque presque tous les corps de cette catégorie sont solubles dans l'un des trois dissolvants précédents. Même dans le cas où ils y sont insolubles à l'état de liberté, il y a souvent moyen de résoudre la question en les engageant dans une combinaison soluble. Par exemple, les acides et les bases organiques insolubles dans l'eau, l'acide acétique ou la benzine, peuvent devenir solubles dans l'eau quand on les fait passer à l'état de sels; dès lors, leur poids moléculaire se détermine avec facilité, comme on le verra bientôt.

III.—POIDS MOLÉCULAIRES DES CORPS DE NATURE MINÉRALE.

1. Pour les composés de nature minérale, le nombre des dissolvants qu'on peut employer est beaucoup plus restreint que pour les matières organiques. Les acides, les bases et les sels proprement dits ne peuvent guère être dissous que dans l'eau; les chlorures minéraux volatils peuvent se dissoudre dans l'acide acétique et dans la benzine.

2. *Chlorures Minéraux Anhydres.*—Les poids moléculaires des chlorures minéraux anhydres (AsCl_3 , SnCl_4 , etc.) peuvent être déterminés facilement d'après l'observation du point de congélation de leurs solutions dans la benzine ou dans l'acide acétique.

Dans la benzine, employée comme dissolvant, on a

$$(\epsilon) \quad M = 49 \times \frac{P}{C}.$$

¹ il est fort peu = there are very few.

Dans l'acide acétique, employé comme dissolvant, on a

$$(8) \quad M = 39 \times \frac{P}{C},$$

comme pour les matières organiques.

Il importe que l'acide acétique employé soit absolument exempt d'eau mélangée, celle-ci pouvant décomposer le chlorure dissous.

Comme les chlorures solubles dans ces dissolvants sont tous volatils et que leurs densités de vapeur peuvent être facilement déterminées, il ne semble pas, tout d'abord, qu'il y ait grande utilité à déterminer leurs poids moléculaires par la méthode cryoscopique. Il y en a cependant, au moins pour les chlorures, dont on peut craindre la dissociation par la vaporisation. C'est le cas, par exemple, pour le perchlorure de phosphore. Le perchlorure de phosphore, dissous dans la benzine, possède un coefficient d'abaissement $\frac{C}{P} = 0,241$, pour un abaissement du point de congélation $C = 0^{\circ},926$; on a donc pour son poids moléculaire

$$M = \frac{49}{0,241}.$$

d'où

$$M = 203.$$

Ce nombre 203 est aussi rapproché qu'on peut le désirer de 208,5, qui correspond à la formule PCl_5 . Cette formule est donc la bonne.

3. *Acides, Bases et Sels.*—Les sels dissous dans l'eau ont une constitution toute spéciale et leurs abaissements moléculaires sont régis par des lois d'une complication exceptionnelle. On peut, néanmoins, déterminer le poids moléculaire des acides, des bases et des sels, d'après l'abaissement du point de congélation qu'ils produisent dans l'eau; il suffit de mettre à profit¹ les données que j'ai fournies plus haut, relativement aux valeurs de T dans les différents groupes. Voici, à cet égard, quelques règles simples et pratiques qui pourront guider les expérimentateurs.

Le poids moléculaire d'un acide, d'une base ou d'un sel neutre est déterminé quand on connaît la basicité de l'acide ou l'atomi-

¹ mettre à profit = to make use of.

cité du métal. Voyons comment on peut déterminer l'une et l'autre.

4. *Détermination de la Basicité D'un Acide.*—J'ai dit plus haut que, dans la formule (a), on a, l'eau étant le dissolvant employé :

T = 35 pour les sels alcalins (c'est-à-dire de K, Na, Am, etc.) à acides monobasiques ;

T = 40 pour les sels alcalins neutres à acides bibasiques. J'ajoute que l'on a :

T = 45 pour les sels alcalins neutres à acides tribasiques ou tétrabasiques.

Cela résulte d'expériences concordantes faites sur les sels alcalins de trente-six acides différents, savoir :

Acides monobasiques : azotique, chlorique, perchlorique, iodique, permanganique, hypochloreux, formique, acétique, fluorhydrique, chlorhydrique, bromhydrique, iodhydrique, cyanhydrique, sulfocyanhydrique, sulfhydrique, hypophosphoreux.

Acides bibasiques : hyposulfureux, sulfureux, hyposulfurique, sulfurique, sélénique, chromique, tungstique, carbonique, phosphoreux, oxalique, tartrique, malique, nitroprussique, platinocyanhydrique.

Acides tribasiques : phosphorique, citrique, ferricyanhydrique, cobalticyanhydrique.

Acides tétrabasiques : pyrophosphorique, ferrocyanhydrique.

Si donc on désigne par E le poids moléculaire d'un sel alcalin neutre qui renferme 1 éq. de métal (ce qu'on prenait autrefois pour l'équivalent du sel), on a $E = M$ pour les premiers, $E = \frac{M}{2}$ pour les seconds, et enfin $E = \frac{M}{3}$ ou $E = \frac{M}{4}$ pour les derniers. Il en résulte, pour les sels alcalins neutres dissous dans l'eau :

$$\text{Si l'acide du sel est monobasique} \dots\dots\dots \frac{C}{P} \times E = 35,0$$

$$\text{Si l'acide du sel est bibasique} \dots\dots\dots \frac{C}{P} \times E = 20,0$$

$$\text{Si l'acide est tribasique ou tétrabasique} \dots\dots\dots \frac{C}{P} \times E = 15,0$$

Il est facile, d'après cela, de déterminer la basicité d'un acide. On fait passer l'acide considéré à l'état de sel alcalin neutre, en le saturant avec de la potasse, de la soude ou de l'ammoniaque; on dissout ce sel dans l'eau; on détermine son coefficient d'abaissement $\frac{C}{P}$ à l'origine; enfin on calcule la valeur du produit $\frac{C}{P} \times E$.

Suivant que¹ ce produit se rapproche de 35, de 20 ou de 15, on conclut que l'acide du sel est monobasique, bibasique ou tribasique.

Citons quelques exemples choisis parmi ceux dont s'occupe la Chimie élémentaire et qui prêtent à la controverse.

Premier Exemple.—Détermination de la basicité et de la formule de l'acide fluorhydrique.—La question est intéressante, puisque les chimistes les plus distingués hésitent à se prononcer à ce sujet.

On transforme l'acide fluorhydrique en fluorure de potassium; on trace la courbe des coefficients d'abaissement $\frac{C}{P}$ de ce sel dissous dans l'eau et on en déduit, pour la valeur de $\frac{C}{P}$ à l'origine le nombre 0,605. Or le poids E de fluorure de potassium qui renferme 39 gr. ou 1 éq. de potassium est 58.

On a donc ici

$$\frac{C}{P} \times E = 0,605 \times 58 \text{ ou } \frac{C}{P} \times E = 35,1.$$

Ce nombre est évidemment plus voisin de 35 que de 20 ou de toute autre valeur inférieure; par conséquent l'acide fluorhydrique est monobasique et sa formule est HF1.

Deuxième Exemple.—Détermination de la basicité et de la formule de l'acide carbonique.—La basicité de cet acide ne peut faire question que pour les chimistes qui font usage des équivalents; car pour ceux qui emploient la notation atomique, l'acide carbonique est nécessairement bibasique. Parmi les raisons expérimentales qui le font aujourd'hui considérer comme bibasique figure sa propriété de donner des sels alcalins acides; mais cette propriété n'appartient pas exclusivement aux acides bibasiques,

¹ suivant que = according to whether.

puisque l'acide fluorhydrique, qui est certainement monobasique comme nous venons de le voir, produit des fluorhydrates de fluorures très stables. Les raisons empruntées à la Chimie organique sont, par contre, péremptoires; mais il n'est pas possible de les exposer dans un Cours de Chimie minérale. Il n'est donc pas inutile de fournir, en faveur de la bibasicité de l'acide carbonique, une preuve décisive et immédiate.

Le coefficient d'abaissement à l'origine du carbonate neutre de potasse dissous dans l'eau est, d'après mes expériences, $\frac{C}{P} = 0,292$. D'autre part, le poids de carbonate de potasse qui renferme 1 équ. ou 39 gr. de potassium est $E = 69$; on a donc

$$\frac{C}{P} \times E = 0,292 \times 69 \text{ ou } \frac{C}{P} \times E = 20,1$$

Ce dernier nombre est beaucoup plus rapproché de 20 que de 35 ou de 15; l'acide carbonique est donc bibasique. La formule du carbonate neutre de potasse est donc $(KO)_2C_2O_4$, en équivalents; par suite, celle de l'acide carbonique est C_2O_4 et son poids moléculaire est 44.

5. *Cas des Acides Organiques.*—La méthode s'applique à la détermination de la basicité et de la formule des acides organiques, bien que leurs sels alcalins neutres se décomposent légèrement dans l'eau. Le poids moléculaire des acides organiques peut, d'ailleurs, comme nous l'avons vu, être obtenu directement en les dissolvant dans l'eau ou dans l'acide acétique. Ces diverses méthodes peuvent se contrôler mutuellement.

Voyons maintenant comment on peut déterminer l'atomicité d'un métal dans un sel.

6. *Détermination de l'Atomicité D'un Métal.*—Nous avons dit que les abaisséments moléculaires de tous les azotates métalliques et de presque tous les chlorures métalliques dissous dans l'eau sont égaux à 35 ou à 45, suivant que le métal est monoatomique ou biatomique. C'est l'expression même des résultats fournis par les azotates des seize métaux suivants: Métaux monoatomiques: potassium, sodium, ammonium, lithium, coesium, argent.

Métaux biatomiques: baryum, strontium, calcium, magnésium, manganèse, zinc, cadmium, cuivre, plomb, mercure.

Je n'ai pu réussir à trouver d'exception à cette règle, et il y a lieu de la considérer comme générale.

Si donc on désigne par E le poids de l'azotate métallique renfermant 14 gr. ou 1 éq. d'azote, on aura :

$$\text{Si le métal du sel est monoatomique} \dots \frac{C}{P} \times E = 35,0$$

$$\text{Si le métal est biatomique} \dots \dots \dots \frac{C}{P} \times E = 22,5$$

Ajoutons que l'on a constamment :

$$\text{Quand le métal est polyatomique} \dots \dots \frac{C}{P} \times E = 22,5$$

Cela dit, voici comment on procède pour déterminer l'atomicité d'un métal: on détermine le coefficient d'abaissement $\frac{C}{P}$ à l'origine de l'azotate de ce métal dissous dans l'eau; on calcule la valeur du produit $\frac{C}{P} \times E$, et, suivant que ce produit est voisin de 35 ou de 22,5, on peut dire avec certitude que le métal du sel est monoatomique ou qu'il ne l'est pas.

Relativement à la question de savoir si le métal du sel est biatomique, triatomique,.....ou hexatomique, la méthode ne peut guère, quant à présent, donner autre chose que des présomptions.

L'emploi des azotates dans cette recherche est avantageux, parce qu'ils sont tous solubles dans l'eau et qu'aucun d'eux ne présente un abaissement moléculaire anormal. Mais on peut parfaitement employer les chlorures, sans qu'il soit nécessaire de rien changer aux chiffres précédents. L'abaissement moléculaire anormal, que les chlorures des métaux biatomiques peu oxydables (CdCl_2 , HgCl_2) présentent parfois dans les dissolutions aqueuses, n'empêche nullement l'application de la règle précédente et n'entraîne aucune erreur. Comme il n'est guère de métal dont le chlorure ou l'azotate ne soit soluble dans l'eau, on voit que ce procédé est d'une application très générale.

Premier Exemple.—Détermination de l'atomicité du lithium.—Le coefficient d'abaissement à l'origine du chlorure de lithium dissous dans l'eau est $\frac{C}{P} = 0,840$. Le poids de ce sel qui renferme

1 éq. ou 35 gr., 5 de chlore est $E = 42,5$; on a donc

$$\frac{C}{P} \times E = 0,840 \times 42,5 = 35,7.$$

Ce nombre 35,7 est beaucoup plus rapproché de 35 que de 22,5, et il en résulte que le lithium est monoatomique. Le poids moléculaire de son chlorure correspond à la formule $\text{LiCl} = 42,5$ et, par conséquent, celui du lithium est égal à 7.

Deuxième Exemple.—Détermination de l'atomicité du cadmium.—On sait que le poids atomique du cadmium et celui du mercure, déterminés d'après leurs densités gazeuses, sont précisément égaux à leurs équivalents; tandis qu'ils ont une valeur double lorsqu'on les déduit des chaleurs spécifiques des mêmes corps pris dans l'état solide. Dans le premier cas, ces métaux sont désignés comme monoatomiques et dans le second comme biatomiques. De quel côté est la vérité? La cryoscopie permet facilement de décider la question.

L'expérience montre que l'azotate de cadmium, dissous dans l'eau, possède un coefficient d'abaissement à l'origine $\frac{C}{P} = 0,192$.

On sait, d'autre part, que le poids de l'azotate de cadmium qui renferme 14 gr. ou 1 éq. d'azote est 118. On a donc ici

$$\frac{C}{P} \times E = 0,192 \times 118 = 22,7.$$

Ce nombre 22,7 est évidemment plus près de 22,5 que de 35; par conséquent, le cadmium est biatomique. C'est donc avec raison qu'on représente l'azotate de cadmium par la formule atomique $\text{Cd}(\text{AzO}_3)_2$, dans laquelle $\text{Cd} = 112$. En opérant avec le sulfate de cadmium, on arrive à la même conclusion, relativement à l'atomicité de ce métal; on le verra plus loin.

Avec le chlorure de cadmium, on trouve $\frac{C}{P} \times E = 16,7$, ce qui

est un nombre anormal. Ce nombre 16,7 n'en est pas moins, et à plus forte raison, plus éloigné de 35 que de 22,5, ce qui prouve encore que le cadmium n'est pas monoatomique.

Troisième Exemple.—Détermination de l'atomicité du mercure. —L'azotate de mercure se décomposant partiellement dans l'eau, il est nécessaire de prendre des dispositions spéciales pour empêcher cette décomposition. On dissout donc l'azotate mercurique ou simplement l'oxyde rouge de mercure dans une dissolution d'acide azotique employé en excès. On a ainsi un mélange d'azotate mercurique et d'acide azotique, dont les proportions sont données par le calcul. Connaissant l'abaissement du point de congélation du mélange et l'abaissement partiel de l'acide azotique libre, on peut calculer l'abaissement partiel de l'azotate mercurique, en se fondant sur¹ la loi des mélanges. Donnons quelques détails, pour préciser.

Je prends 109 gr., 203 d'une dissolution d'acide azotique monohydraté. J'y introduis 4 gr., 733 d'oxyde mercurique, qui passent rapidement à l'état d'azotate mercurique, et j'ai dès lors un mélange nouveau qui, d'après le calcul, a la composition suivante :

Acide azotique monohydraté	6,440 gr.
Azotate mercurique anhydre	7,101
Eau	100,000

L'expérience donne, pour l'abaissement du point de congélation de ce mélange, le nombre 4°, 587. D'après la courbe des coefficients d'abaissement bruts $\frac{C}{P}$ de l'acide azotique (courbe qui a été construite d'avance), cet acide, à cette température 4°, 587, possède un coefficient d'abaissement brut $\frac{C}{P} = 0,581$. L'abaissement partiel produit par 6 gr., 440 d'acide azotique dans 100 gr. d'eau est donc

$$0,581 \times 6,440 \text{ ou } 3^{\circ},742.$$

Déduisant 3°, 742 de l'abaissement du mélange, qui est 4°, 587, il reste 0°, 845 pour l'abaissement partiel dû à 7 gr., 101 d'azotate mercurique dans 100 gr. d'eau. Le coefficient d'abaissement brut

¹ en se fondant sur = basing one's self on.

$\frac{C}{P}$ de l'azotate mercurique, à 4°,587, est donc $\frac{C}{P} = \frac{0,845}{7,101}$ ou $\frac{C}{P} = 0,119$.

En faisant varier convenablement les proportions relatives d'eau, d'acide azotique et d'azotate mercurique, on obtient des mélanges dont l'abaissement du point de congélation est plus faible que le précédent, et on en déduit, de la même manière, le coefficient d'abaissement brut de l'azotate mercurique à différentes températures, comprises entre 4°,5 et 2°,5. En appliquant à ces résultats la construction connue, on trouve, pour le coefficient d'abaissement à l'origine de l'azotate mercurique, $\frac{C}{P} = 0,141$.

Le poids E de l'azotate mercurique, qui renferme 1 éq. d'azote, est 162. Par conséquent, on a pour ce sel

$$\frac{C}{P} \times E = 0,141 \times 162 = 22,8.$$

Ce nombre 22,8 étant beaucoup plus rapproché de 22,5 que de 35 et se confondant presque avec 22,5, on peut affirmer que le mercure est biatomique. Par conséquent, la formule atomique de l'azotate mercurique est



dans laquelle Hg = 200. La méthode indirecte, dont je viens de donner un exemple, est susceptible d'être appliquée à presque tous les sels qui ont une tendance plus ou moins marquée à se décomposer dans l'eau pure.

Pour le chlorure mercurique, on a $\frac{C}{P} \times E = 14,1$. Ce nombre est anormal. Il n'en est pas moins plus éloigné¹ de 35 que de 22,5, ce qui montre encore que le mercure n'est point monoatomique. Tous ces résultats sont concordants.

On voit donc, en résumé, que, pour le cadmium comme pour le mercure, c'est la chaleur spécifique, et non la densité de vapeur, qui indique le poids atomique véritable du métal.

7. *Autre Méthode.*—Dans ce qui précède, j'ai recommandé, pour déterminer l'atomicité ou la basicité des radicaux salins, de

¹ il n'en est pas moins plus éloigné = it is nevertheless farther away.

les combiner avec des radicaux antagonistes, monobasiques ou monoatomiques, comme K, Cl,, etc. En opérant ainsi, en effet, on forme le plus souvent des sels solubles dans l'eau, et qui donnent des indications particulièrement nettes. Mais rien n'oblige à agir de cette façon, et l'on peut parfaitement combiner les radicaux salins, que l'on veut étudier, avec des radicaux antagonistes biatomiques ou bibasiques, tels que SO_4 , Mg, etc.

Il résulte des données que j'ai rapportées plus haut que, si l'on désigne par E le poids du sel qui renferme 1 éq. de métal biatomique, on a :

$$\text{Si l'acide du sel est monobasique} \dots \frac{C}{P} \times E = 22,5$$

$$\text{Si l'acide du sel est biatomique} \dots \frac{C}{P} \times E = 8,5.$$

Un acide sera donc reconnu comme monobasique ou bibasique à ce que¹ le produit $\frac{C}{P} \times E$, relatif à son sel magnésien (par exemple), sera voisin de 22,5 ou de 8,5.

Les bases minérales combinées avec l'acide sulfurique (ou tout autre acide bibasique fort) donnent, pour un poids E de sel renfermant 1 éq. d'acide.

$$\text{Si le métal du sel est monoatomique} \dots \frac{C}{P} \times E = 20,0$$

$$\text{Si le métal du sel est biatomique} \dots \frac{C}{P} \times E = 8,5$$

On reconnaîtra donc qu'un métal est monoatomique ou biatomique à ce que l'abaissement produit par 1 éq. de son sulfate, par exemple, sera voisin de 20 ou de 8,5.

Exemple.—Avec le sulfate de cadmium, dissous dans l'eau, on trouve que la valeur de $\frac{C}{P}$ à l'origine est de 0,081. On sait, d'autre

part, que l'équivalent de ce sel est 103,7. On a donc $\frac{C}{P} \times E = 8,4$. Ce dernier nombre se confondant presque avec 8,5, on

¹ à ce que = when, by the fact that.

peut affirmer que le cadmium est biatomique; c'est d'ailleurs ce que nous savions déjà d'après l'expérience faite sur son azotate.

La saturation, par des acides bibasiques, des bases dont on veut déterminer l'atomicité ne peut présenter d'avantages que dans le cas où elle donne naissance à des sels plus solubles que les azotates; mais ce cas est très rare et le plus souvent, même, on n'obtient ainsi que des sels insolubles. C'est pour cela que je n'en parle qu'accessoirement. Chacun pourra, d'ailleurs, déduire des données fournies plus haut les moyens les plus convenables de résoudre la question dans chaque cas particulier.

8. La basicité des acides et l'atomicité des métaux peuvent encore être déduites de l'abaissement du point de congélation, produit par les éthers et les radicaux organométalliques en dissolution dans l'acide acétique ou dans la benzine. Les résultats ainsi obtenus vérifient et complètent, au besoin, ceux qui sont fournis par l'étude cryoscopique des sels dissous dans l'eau.

9. La méthode cryoscopique est, on le comprend, capable de recevoir des accroissements importants par l'emploi de dissolvants nouveaux; et, en fait, il n'y a d'autre obstacle à son extension indéfinie que la difficulté de mesurer exactement le point de fusion des dissolvants, qui fondent, à des températures notablement différentes de la température ordinaire. Réduit à ses ressources actuelles, cette méthode est déjà d'une application fort étendue, puisqu'elle est en mesure de déterminer le poids moléculaire de la multitude des corps qui sont solubles dans l'eau, l'acide acétique ou la benzine. Le nombre de ces corps est bien plus considérable que celui des substances qui sont assez volatiles pour qu'on puisse prendre leur densité de vapeur. On peut donc dire que, de toutes les méthodes physiques qui permettent d'arriver à la connaissance des poids moléculaires, la méthode cryoscopique, telle que je la pratique aujourd'hui, est la plus générale de beaucoup. C'est aussi la plus sûre, puisque chacune de ses indications est susceptible de contrôle.

Grenoble, 1er Novembre 1885.

RECHERCHES SUR LES PROPRIÉTÉS SPÉCIFIQUES
DES DEUX ACIDES QUI COMPOSENT
L'ACIDE RACÉMIQUE.

PAR M. L. PASTEUR.

Annales de Chimie et de Physique, Troisième Série, Vol. 28, 1850.

Je me propose d'établir, dans ce travail, que l'acide paratartrique ou racémique est une combinaison de deux acides, l'un déviant à droite, l'autre à gauche le plan de polarisation des rayons lumineux, tous deux de la même quantité absolue et dont les formes cristallines, identiques dans toutes leurs parties respectives, sont des polyèdres symétriques, non superposables. Je montrerai, d'autre part, que l'un de ces acides est l'acide tartrique, et que les sels correspondants de ces deux acides offrent les analogies les plus nouvelles et les plus inattendues entre leurs propriétés physiques et chimiques. Toute la différence de ces sels consiste, comme celle de leurs acides, dans le pouvoir inverse qu'ils exercent sur le plan de polarisation de la lumière, et dans la symétrie de leurs formes cristallines.

Afin de rappeler l'origine et l'action sur la lumière polarisée de ces deux acides, je les nommerai acide dextroracémique et acide lévoraacémique. L'acide dextroracémique est l'acide tartrique. Dans le Mémoire qui a précédé celui-ci, et auquel l'Académie a bien voulu accorder son approbation, je signalais déjà l'existence de ces deux acides, mais je ne les avais obtenus qu'en quantité excessivement petite. Tout ce que j'avais pu constater, c'est qu'ils avaient des pouvoirs rotatoires inverses. Depuis lors, j'ai pu les produire avec abondance, grâce à l'obligeance extrême avec laquelle M. Kestner, de Thann, l'auteur de la découverte de l'acide racémique, a bien voulu mettre à ma disposition une assez grande quantité de cet acide. Je profite de cette occasion pour remercier ici publiquement cet industriel distingué. Je dois attacher d'autant plus de prix à cette obligeance, que ce singulier acide racémique ne se produit plus. Non seulement M. Kestner n'en obtient pas trace dans sa fabrication depuis l'époque de sa découverte, mais il a fait des essais variés pour le reproduire, et

il n'y est point parvenu. C'est donc une fois seulement, sans doute par une circonstance particulière de la fabrication, ou par une maladie du tartre dans les raisins, que cet acide a pris naissance. Les raisins des Vosges n'en renferment pas plus que ceux des autres contrées. J'ai la conviction qu'une fois l'attention des chimistes appelée sur ce sujet, et les résultats des recherches que l'on va lire étant connus, on ne tardera pas à transformer l'acide tartrique en acide racémique.

RACÉMATE DOUBLE DE SOUDE ET D'AMMONIAQUE.

La matière première¹ à l'aide de laquelle je sépare de l'acide racémique les deux acides qui entrent dans sa composition est le racémate double de soude et d'ammoniaque. C'est l'intermédiaire par lequel je suis obligé de passer pour arriver à la préparation de l'acide dextro-racémique et de l'acide lévoraçémique.

Si l'on sature des poids égaux d'acide racémique par de la soude et de l'ammoniaque, et que l'on mêle les liqueurs neutres, il se dépose par refroidissement, ou par évaporation spontanée, un sel double en cristaux d'une grande beauté, et que l'on peut obtenir en trois ou quatre jours avec des dimensions extraordinaires, quelquefois de plusieurs centimètres de longueur et d'épaisseur. En examinant attentivement et un à un les cristaux qui se déposent dans cette opération, j'ai reconnu, ainsi que je l'ai expliqué dans mon premier travail, qu'il y avait deux sortes de cristaux, les uns hémiedres à droite, les autres hémiedres à gauche, et exactement en même poids, quelle que soit l'époque de la cristallisation. La solution des cristaux hémiedres à droite dévie à droite le plan de polarisation, celle des cristaux hémiedres à gauche dévie à gauche, de la même quantité absolue toutes deux, et, à part la disposition des facettes hémiedriques, les deux espèces de cristaux sont d'une identité parfaite sous tous les rapports. Donéavant je nommerai dextroacémate de soude et d'ammoniaque les cristaux hémiedres à droite, lévoraçémate de soude et d'ammoniaque, les cristaux hémiedres à gauche. Pour isoler ces deux sels l'un de l'autre, il faut examiner successivement chaque cristal, en distinguer le caractère hémiedrique, et mettre

¹ la matière première = the raw material.

ensemble tous ceux dont les facettes hémiedriques ont la même orientation. Si les cristaux s'enchevêtrent, s'ils sont groupés et assis les uns sur les autres, on ne peut faire le triage¹ que j'indique que sur une faible partie de la cristallisation. Autant que possible, il faut des cristaux isolés, très nets, portant les facettes qui accusent l'hémiedrie et son sens. J'ai remarqué que si à une dissolution saturée froide, l'eau mère d'une cristallisation par exemple, on ajoute une certaine quantité des cristaux mixtes, qu'on fasse dissoudre ceux-ci à chaud dans cette solution, en trois ou quatre jours on avait de très beaux cristaux, isolés, faciles à choisir. La quantité de sel solide que l'on ajoute à l'eau mère varie avec la température, mais elle doit être telle que, par refroidissement, il ne se dépose dans les premières vingt-quatre heures que quelques cristaux seulement. Ceux-ci sont alors très éloignés, et dans les jours suivants on les voit grossir et augmenter en nombre. La dissolution de ce sel perd de l'ammoniaque par évaporation; il en résulte un dépôt peu abondant de sel acide en très petits cristaux. Pour empêcher la formation de ce sel acide, j'ajoute quelques gouttes d'ammoniaque à la solution au moment où je la mets à cristalliser.

Lorsqu'en suivant ces précautions on a obtenu une belle cristallisation, on décante l'eau mère,² on essuie chaque cristal séparément avec du papier buvard³ froissé entre les mains, et l'on procède au triage des deux espèces de cristaux. J'ajouterai encore qu'il faut toujours retirer une cristallisation le matin, parce que l'élévation de la température de la journée fait redissoudre les cristaux en partie, ce qui fait disparaître les petites facettes hémiedriques.

On conçoit très bien que par ce triage il est difficile d'isoler complètement le dextroracémate du lévroracémate. En séparant deux cristaux inverses, accolés, il se peut qu'une parcelle de l'un reste sur l'autre. Ces cristaux renferment en outre à leur surface, si on ne les a pas bien essuyés, et toujours dans leur intérieur, une petite quantité d'eau mère, et cette eau mère contient les

¹ le triage = the sorting.

² eau mère = mother liquor.

³ papier buvard = blotting paper.

deux sels. La purification est très simple. Il suffit de faire cristalliser séparément le dextroracémate et le lévoraémate extraits par un premier triage. On obtient ainsi les deux espèces de sels très pures, et, bien entendu, le caractère hémédrique se conserve pour chacun. La solution du lévoraémate ne donne par cristallisation nouvelle aucun cristal qui porte à droite les facettes hémédriques; la dissolution du dextroracémate n'en donne aucun qui les porte à gauche. C'est seulement la cristallisation des dernières portions d'eaux mères qui donnerait des cristaux droite et gauche.

Si l'on veut s'assurer immédiatement, par une réaction chimique, que les cristaux qui se déposent quand on essaie de faire le racémate double de soude et d'ammoniaque, sont de deux espèces, et qu'aucun pris isolément ne contient d'acide racémique, il suffira de prendre l'un de ces cristaux, de le dissoudre et de traiter la solution par un sel de chaux. On verra, si les liquides sont un peu étendus, qu'aucun précipité ne prendra naissance, et qu'après quelque temps il se déposera des cristaux brillants, isolés, en prisme droit à base rhombe, passant à l'octaèdre sur les angles des bases. Enfin, le sel de chaux se précipitera avec tous les caractères du tartrate de cette base. Les solutions des deux espèces de cristaux se comporteront exactement de même pour l'oeil. Mais si, au lieu de prendre les cristaux séparés, on réunit deux cristaux, l'un hémédre à droite, l'autre à gauche, et qu'on les dissolve ensemble, le précipité par le sel de chaux, même dans des liqueurs très étendues, se formera tout de suite, ou après quelques secondes, à l'état de poudre amorphe ou en petites lames minces, isolées ou groupées en étoile, selon le plus ou moins de lenteur de la précipitation; enfin avec tous les caractères du racémate de chaux.

PRÉPARATION DES ACIDES DEXTRORACÉMIQUE ET LÉVORACÉMIQUE.

Pour obtenir les acides dextroracémique et lévoraémique, il faut d'abord se procurer une assez grande quantité des cristaux qui se déposent lorsqu'on essaie de préparer le racémate double de soude et d'ammoniaque. On prend des poids égaux d'acide racémique; on sature l'un de ces poids par le carbonate de soude pur, l'autre par l'ammoniaque, et on mêle les deux liqueurs. On

évapore et on fait cristalliser en suivant les indications que j'ai données précédemment. Une solution de ce sel double, saturée à 11 degrés centigrades, marque 23 degrés à l'aréomètre de Beaumé. Elle marque 28 degrés si elle est saturée à la température de 21 degrés.

Ainsi que je l'ai expliqué, deux espèces de cristaux prennent naissance, les uns hémiedres à droite, les autres à gauche. On sépare les cristaux hémiedres à droite des cristaux hémiedres à gauche. Ces deux espèces de cristaux sont dissous à part et remis à cristalliser.

Acide Dextroracémique.—Le dextroracémate de soude et d'ammoniaque pur dissous dans l'eau est traité par le nitrate de plomb ou un sel de baryte. Le sel de plomb convient mieux parce qu'il y a moins de perte; le dextroracémate de ce métal est presque tout à fait insoluble dans l'eau. Le précipité, d'abord gélatineux, ne tarde pas à devenir cristallin, surtout à chaud; il se lave d'ailleurs facilement par décantation ou sur filtre. J'ai lieu de croire¹ cependant qu'il entraîne avec lui un peu de nitrate de plomb que le lavage ne lui enlève pas.

Les cristaux de dextroracémate de plomb, examinés à la loupe ou au microscope, ont la forme de prismes droits à base rhombe avec des modifications sur les angles qui conduisent à l'octaèdre. Par leur aspect, ils ressemblent beaucoup au tartrate de chaux. Ce sel est anhydre et a pour composition $C_4H_2O_6PbO$.

1,603 gr. de ce sel calcinés dans une capsule de porcelaine ont laissé un résidu de 0,972. Le poids de plomb métallique obtenu, après avoir traité ce résidu par l'acide acétique, était de 0,479. On déduit de ces données que le dextroracémate de plomb renferme 62,9 pour cent d'oxyde de plomb. C'est exactement ce qu'exige la formule précédente.

L'expérience suivante prouve que le dextroracémate de plomb est presque tout à fait insoluble: 100 grammes de dextroracémate de soude et d'ammoniaque ont été traités par 130 grammes de nitrate de plomb. Le dextroracémate précipité et desséché pesait 135 grammes. Ce poids de dextroracémate de plomb correspond à 50 grammes d'acide anhydre, et, d'après la composition du dex-

¹ J'ai lieu de croire = I have reasons to believe.

troracémate de soude et d'ammoniaque, 100 grammes de ce sel renferment 50,5 gr. d'acide anhydre.

Le dextroracémate de plomb est traité ensuite par l'acide sulfurique à une douce température. Si l'on veut obtenir l'acide cristallisé, il sera préférable d'ajouter un petit excès d'acide sulfurique. Dans le cas contraire, on n'emploiera que la quantité d'acide sulfurique nécessaire à la décomposition du sel de plomb.

J'ai également préparé l'acide dextroracémique et l'acide lévora-
cémique en traitant les sels de plomb délayés dans l'eau par un courant d'acide sulfhydrique. Cette méthode est plus longue et n'offre aucun avantage.

L'acide dextroracémique cristallise dans des liqueurs concentrées, surtout en présence d'une certaine quantité d'acide sulfurique. On obtient des cristaux limpides, volumineux, d'une grande beauté, par une évaporation lente. Cet acide dextroracémique est identique avec l'acide tartrique pour toutes ses propriétés physiques et chimiques. Je lui conserverai cependant le nom d'acide dextroracémique pour rappeler son origine. C'est dans cette intention seule que je lui donne ce nom, car il est impossible de douter de son identité parfaite avec l'acide tartrique de la crème de tartre ordinaire. Je vais, du reste, établir ce fait d'une manière incontestable.

Acide Lévoracémique.—La préparation de l'acide lévora-
cémique se fait absolument comme celle de l'acide dextroracémique. Le lévora-
cémate de soude et d'ammoniaque est traité par le ni-
trate de plomb: le lévora-
cémate de plomb est ensuite décomposé
par l'acide sulfurique étendu.

Cet acide cristallise facilement par évaporation lente, surtout s'il est mêlé d'un peu d'acide sulfurique, en très beaux cristaux limpides, volumineux, d'une grande netteté. Rien n'est plus curieux et plus extraordinaire à la fois, dans l'état actuel de la science, que l'étude de cet acide comparée à celle de l'acide dextroracémique ou tartrique. Entre l'acide tartrique et l'acide lévora-
cémique, que l'on pourrait aussi appeler lévotartrique, il est impossible d'assigner d'autres différences que l'hémiédrie, et du sens de la déviation du plan de polarisation des rayons lumineux. Angles des faces, aspect physique, solubilité, poids spéci-

fique, propriétés chimiques, composition, tout se ressemble dans ces deux acides; mais la forme cristalline de l'un est la forme symétrique de l'autre. Le cristal d'acide tartrique, présenté devant une glace, offre une image qui est exactement la forme de l'acide lévoraquémique. D'autre part, l'acide lévoraquémique dévie à gauche le plan de polarisation des rayons lumineux, tandis que l'acide tartrique le dévie à droite, mais de la même quantité absolue.

ACIDE RACÉMIQUE.

Il résulte des faits précédemment exposés que l'on peut doubler l'acide racémique en deux acides distincts, dont l'un est l'acide tartrique, et qui offrent cet isomorphisme symétrique très remarquable que nous venons de signaler. La preuve que telle est bien la constitution de cet acide sera complète, si nous montrons qu'une fois isolés, ces deux acides peuvent redonner l'acide racémique d'où on les a extraits. Cette preuve synthétique est des plus faciles. Il suffit de mêler des solutions concentrées d'acide dextroraquémique ou d'acide tartrique et d'acide lévoraquémique pour qu'à l'instant il se forme, avec un dégagement de chaleur très sensible à la main, des cristaux abondants d'acide racémique. Tout se prend en masse solide et cristalline, et l'acide ainsi formé a toutes les propriétés physiques et chimiques de l'acide racémique. En faisant redissoudre et cristalliser, on obtient de beaux cristaux d'acide racémique, tout à fait identiques, par leur forme cristalline et leur composition chimique, avec l'acide racémique de Thann.

0,5 gr. de cet acide ont donné 0,519 d'acide carbonique et 0,215 d'eau. D'où :

Carbone	28,32
Hydrogène	4,96

La formule $C_4H_2O_6HO$, HO de l'acide racémique de Thann exige :

Carbone	28,57
Hydrogène	4,76

C'est après avoir fait l'étude de la composition de l'acide racémique et des racémates, que Berzélius appela l'attention sur les

substances de même composition chimique et de propriétés distinctes. Dans le même travail il proposa, pour désigner ces substances, la dénomination d'isomères adoptée par tous les chimistes. On a, pendant quelque temps, essayé de rendre compte de l'isomérisie de l'acide racémique et de l'acide tartrique, par la différence de capacité de saturation de ces deux acides. En réalité elle est la même. L'isomérisie de ces deux acides est aujourd'hui parfaitement expliquée par la découverte des acides lévora-cémique et dextroracémique.

Je rappelais en commençant ce travail que ce singulier acide racémique, ainsi que me l'a assuré M. Kestner, n'a jamais été obtenu dans sa fabrique depuis l'époque où il a été découvert. Nous voyons ici, d'autre part, que cet acide est une combinaison d'acide tartrique et d'un autre acide identique avec l'acide tartrique, si ce n'est qu'il offre en sens inverse cette dissymétrie moléculaire que présente l'acide tartrique. Nous voyons aussi que l'acide tartrique et l'acide lévora-cémique ou lévotartrique, se combinent immédiatement, dès qu'ils sont en présence, pour donner de l'acide racémique. Il est donc très probable que cet acide racémique s'est produit la première fois par une altération de l'acide tartrique, altération qui avait eu pour but de changer de sens la dissymétrie moléculaire de cet acide. Il faudrait trouver un agent capable de produire sur l'acide tartrique cette modification moléculaire à peu près comme les acides étendus transforment le sucre de cannes déviant à droite en sucre de cannes déviant à gauche. Cette transformation a sans doute eu lieu lorsqu'on a découvert cet acide, soit dans la fabrique même de M. Kestner, ou, ce qui est moins probable cependant, par quelque maladie des raisins à cette époque.

On sait, par les expériences précises de M. Biot, que le pouvoir rotatoire de l'acide tartrique diminue avec la température. D'ailleurs entre l'acide tartrique et l'acide lévora-cémique dissous il n'y a qu'une seule différence, c'est que le premier dévie à droite, l'autre à gauche, le plan de polarisation des rayons lumineux. J'ai donc pensé qu'en soumettant à un grand froid la solution d'acide tartrique, j'obtiendrais de l'acide lévora-cémique, qui, s'unissant immédiatement à l'acide tartrique non transformé, don-

nerait sur-le-champ¹ de l'acide racémique. Soumises au froid, les solutions aqueuses d'acide tartrique se congèlent, et l'on conçoit que le mouvement moléculaire n'est plus guère possible. Les solutions alcooliques résistent et demeurent liquides, mais l'on sait que l'acide tartrique réagit sur les alcools, et, en réalité, on opère sur autre chose que sur l'acide tartrique. Les solutions qui paraissent le mieux convenir, sont celles d'acide tartrique dans l'acide sulfurique et eau. D'autre part, elles restent liquides pour un froid assez considérable; d'autre part, l'acide sulfurique abaisse considérablement le pouvoir rotatoire de l'acide par sa présence seule. Enfin, on se rapproche aussi des circonstances qui ont dû avoir lieu, lorsque, dans la fabrique de Thann, l'acide racémique a pris naissance.

Dans son "Mémoire sur plusieurs points fondamentaux de Mécanique chimique," M. Biot a étudié, page 301, une solution d'acide tartrique dans l'acide sulfurique composée comme il suit:

Acide tartrique	22,6856 gr.
Acide sulfurique	65,0225 (acide anhydre)
Eau	95,8971

La déviation à travers le verre rouge, dans un tube de 501,5 mm., a été de $+ 2^{\circ},2$, et à travers le verre violet, de -4.95 à la température de 14 degrés.

J'ai formé une solution semblable, et je l'ai soumise à un froid de 19 degrés. La liqueur est restée limpide, et il ne s'est pas produit d'acide racémique.

Je dois ajouter que le raisonnement qui me conduisait à essayer de telles expériences n'est peut-être que spécieux; car, si le froid tend à diminuer le pouvoir rotatoire d'une solution tartrique et à la transformer en solution lévoraécémique, il a aussi pour effet de diminuer le pouvoir d'une solution lévoraécémique en valeur absolue, et de la transformer, par là même, en solution tartrique.

Quoiqu'il en soit, c'est avec un véritable regret que je présente ce travail à l'Académie sans avoir pu encore transformer l'acide tartrique en acide racémique.

¹ sur-le-champ = at once.

DES EFFETS PRODUITS SUR LES CORPS PAR LES
RAYONS SOLAIRES.

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

*(Professeur de Physique au Musée National d'Histoire Naturelle, Paris.)*Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 23 Octobre 1843.
Annales de Chimie et de Physique, Troisième Série, Vol. 9.

ACTINOMÈTRE ÉLECTROCHIMIQUE.

Dans plusieurs Mémoires que j'ai présentés à l'Académie, j'ai étudié le dégagement de l'électricité produit lors des réactions chimiques qui ont lieu sous l'influence de la lumière; j'ai fait voir qu'en étendant certains corps, tels que du chlorure ou du bromure d'argent, qui sont impressionnables à la lumière, sur des lames métalliques, on pouvait, à l'aide du galvanomètre, reconnaître la présence de l'électricité dégagée par suite de la décomposition chimique de ces corps. Plus tard, j'ai indiqué la construction et l'usage d'un appareil que j'ai nommé actinomètre électrochimique, et qui est destiné à étudier les rayons chimiques qui agissent sur l'iodure, et même sur le chlorure et le bromure d'argent, par suite des courants électriques développés lors de leur décomposition partielle à la lumière.

Depuis l'époque à laquelle j'ai présenté ce Mémoire, j'ai fait usage de cet appareil, et j'ai été à même¹ de faire des remarques importantes pour son emploi; comme aussi j'avais des moyens de fixer d'une manière précise la portion des parties actives du spectre, j'ai obtenu des résultats plus exacts, et je vais rapporter dans ce paragraphe, en peu de mots, en quoi consiste cet appareil, ainsi que les précautions à prendre pour obtenir de bons effets.

Cet appareil, se compose d'abord d'une table longitudinale de 2 à 3 mètres de longueur, munie d'une règle divisée, le long de laquelle peut se mouvoir avec très peu de frottement une planchette de bois carrée supportant une cuve à eau.

Cette cuve à eau est cubique et de 1 décimètre de côté. Dans son intérieur, rempli d'eau rendue très faiblement conductrice à l'aide d'un peu de sulfate de soude ou de quelques gouttes d'acide

¹ j'ai été à même = I have had occasion.

nitrique ou sulfurique, plongent deux lames d'argent de 25 centimètres carrés chacune, peu épaisses, et terminées par deux tiges également en argent qui viennent s'attacher et communiquer avec deux montants en cuivre. Ces deux montants sont fixés sur la planchette et font communiquer les lames avec les deux extrémités d'un multiplicateur à fil long, excessivement sensible. En avant de cette cuve à eau, et sur la planchette, sont placés deux écrans; l'un d'eux est en cuivre, et percé d'une ouverture verticale rectangulaire de 1 centimètre de largeur et de la hauteur de la cuve, ouverture qui correspond au milieu de celle-ci, de sorte qu'en éclairant l'écran, il n'y a que la portion de la lame d'argent qui est immédiatement derrière l'ouverture qui soit éclairée et qui reçoive les effets du rayonnement. Cette ouverture peut être augmentée ou diminuée en diamètre, à l'aide d'un système de deux lames métalliques qui se rapprochent ou s'éloignent comme dans les appareils de diffraction.

L'autre écran, complètement opaque, peint en blanc, est placé vis-à-vis du précédent et immédiatement devant lui, lorsqu'on veut intercepter toute action du rayonnement, et connaître la portion du spectre solaire qui frappe le centre de l'ouverture du premier écran.

Il est nécessaire de remplir la cuve d'eau très peu conductrice de l'électricité, car l'expérience prouve que plus ce liquide est meilleur conducteur, moins le courant que l'on doit observer a d'intensité; ainsi, en prenant de l'eau fortement acidulée, il peut se faire qu'on observe aucun effet.

Il faut que l'actinomètre soit placé dans une chambre parfaitement obscure, où la lumière ne puisse pénétrer que par l'ouverture du volet, et le mieux est d'avoir son galvanomètre dans une autre pièce que la chambre obscure. Après avoir bien décapé les lames d'argent, on expose une de leurs surfaces à la vapeur d'iode, jusqu'à ce que la couche d'iodure d'argent soit jaunâtre. Il faut les iodurer sans que les lames voient la moindre clarté, et éclairer l'intérieur de la chambre obscure à l'aide d'une bougie placée très loin, afin que l'iodure ne soit pas influencée.

Les lames une fois iodurées, on les plonge dans la cuve à eau, noircie extérieurement de trois côtés et remplie d'eau, de manière

qu'une d'elles présente sa surface iodurée devant l'écran échancré et que la surface iodurée de l'autre lame soit tournée vers un des côtés noircis de la cuve, en sorte que cette dernière ne reçoit en rien¹ l'action du rayonnement chimique qui peut influencer l'autre lame. Une fois attachées aux supports de cuivre, on les met en relation avec un excellent multiplicateur à long fil.

Dans le premier moment, il se produit un courant électrique assez énergique, provenant de la non-homogénéité des deux lames; mais si on laisse l'appareil abandonné à lui-même, l'aiguille se fixe quelquefois au zéro ou bien à quelques degrés d'un côté ou de l'autre. Si elle n'est pas au zéro, en approchant de loin un petit barreau aimanté, on influe sur le système astatique et on peut le ramener vers zéro. Il est vrai que la table des intensités, construites pour le galvanomètre, ne peut plus servir; mais dans chaque circonstance il est un moyen facile de graduer en peu de temps son galvanomètre.

Ce moyen consiste à avoir un second galvanomètre moins sensible que celui qui doit servir à l'actinomètre, et de telle manière qu'un même courant qui donne une déviation de 80 degrés et même plus dans le galvanomètre très sensible, ne donne tout au plus que 20 degrés dans celui qui l'est le moins. Maintenant on fait passer, à l'aide d'une pile thermoélectrique, un même courant dans les deux galvanomètres à la fois, et en modifiant l'intensité du courant, on aura dans le premier galvanomètre une série de déviations comprises entre 0 et 90 degrés, et dans l'autre les déviations correspondantes entre 0 et 20 degrés. Or, comme entre 0 et 20 degrés les déviations sont proportionnelles aux intensités du courant, il s'ensuit que ces dernières indications donnent les intensités correspondantes aux déviations du galvanomètre le plus sensible.

Si l'on avait enduit seulement une seule lame d'iodure d'argent, on aurait eu un courant initial trop considérable, qui, tout en pouvant désaimanter l'aiguille du galvanomètre, maintiendrait pendant trop longtemps une trop grande déviation dans cet instrument, ce qui empêcherait les expériences. Le mieux est de faire communiquer les deux lames entre elles une fois qu'elles sont

¹ en rien = in no way.

plongées dans le liquide, avant de les mettre en rapport avec le multiplicateur, afin d'atténuer la polarisation des électrodes.

Il faut donc, avant d'opérer, avoir gradué son galvanomètre; une seconde condition à remplir, c'est de n'agir que lorsque le ciel est sans nuages, afin que pendant toute la durée de l'expérience, qui est d'une heure ou deux, on ait des résultats comparables.

Si l'on voulait opérer à l'aide d'une lame rendue plus sensitive par le chlorure d'iode ou par la vapeur de brome, on aurait des déviations plus considérables; mais la manière d'opérer serait la même et les résultats à peu près semblables.

Les choses ainsi disposées, on introduit, à l'aide d'une ouverture verticale dans la chambre obscure, un faisceau de rayons solaires, et on forme un spectre horizontal fixe et épuré, comme il est dit précédemment, de manière que le prisme ait son arête verticale et soit dans la position du minimum de déviation. On dispose la table de l'actinomètre de sorte que la ligne centrale du spectre corresponde exactement au milieu de la lame d'argent qui doit être exposée au rayonnement, et avant toute chose on laisse l'écran plein et l'on fait glisser la cuve à eau le long de la règle divisée, de sorte que chacune des raies principales du spectre lumineux obtenu par projection A, B, C, D, E, F, G, H, corresponde successivement à la ligne tracée au milieu sur cet écran peint. On note les divisions correspondantes de la règle et l'on peut commencer après à opérer; car, à l'aide des divisions de la règle, en se reportant sur le spectre dessiné sur la fig. 1, on peut savoir exactement dans quelle partie du spectre on opère.

Il faut tâcher de se servir d'un spectre de 1 déc., 5 à 3 décimètres de long et d'une ouverture d'écran, au devant de la cuve à eau, de 4 à 5 millimètres de diamètre.

Ces précautions une fois indiquées, supposons l'aiguille du galvanomètre fixe, le spectre solaire également fixe, les deux écrans devant la lame iodurée, et la cuve à eau au-delà des rayons rouges. Si l'on fait glisser cet appareil le long de la règle jusqu'au moment où l'on est dans le rouge, vers la raie A, qu'on arrête la cuve, qu'on enlève l'écran plein, alors les rayons de l'extrême rouge frappent la lame, et on ne voit aucune déviation dans le

galvanomètre; on remet l'écran plein, on pousse un peu l'appareil le long de la règle et on l'arrête vers la raie B dans l'orangé; on ôte de nouveau l'écran, et la lame étant frappée par les rayons orangés, on ne voit pas encore l'aiguille du galvanomètre se dévier. En continuant ainsi, on ne commencera à voir une action que lorsque les rayons de l'extrême bleu, vers F, frapperont la lame. Quelquefois on a bien une faible action dans le vert et le jaune; mais probablement comme on le verra plus loin, c'est qu'il y a toujours un peu de lumière diffuse qui a frappé la lame avant l'expérience.

Lorsque les rayons bleus frapperont la lame, on verra une action assez marquée allant en augmentant à mesure que l'on approche du violet. Le maximum sera atteint entre G et H et l'on pourra même avoir 20 ou 30 degrés de déviation, et même davantage, suivant la préparation de la lame et la sensibilité du galvanomètre. Au delà de H, l'action décroîtra, de sorte que vers P, au delà du violet, on n'aura plus qu'une action très faible.

Il faut, je le répète, après chaque observation, mettre l'écran plein devant la lame, pousser l'appareil dans la partie que l'on veut explorer, ôter cet écran et ne laisser la lame découverte que pendant quelques secondes, le temps seulement nécessaire pour que l'aiguille du galvanomètre fasse sa déviation par première impulsion; alors on remet l'écran plein et on pousse l'appareil plus loin. Il faut en agir ainsi pour que la lame ne soit pas trop impressionnée et qu'elle puisse présenter les mêmes résultats dans les mêmes circonstances, pendant toute la durée d'une série d'expériences.

Si l'on fait revenir la cuve à eau en sens inverse, la planchette glissant toujours contre la règle, on repassera dans toutes les parties du spectre solaire, mais en entrant par l'extrémité la plus réfrangible ou violette; alors on retrouvera successivement dans les rayons situés depuis P jusqu'en F, à l'extrême bleu, les mêmes déviations pour les mêmes positions de l'actinomètre, ce qui est facile à constater d'après les divisions de la règle. Mais en revenant dans le vert, vers E, on aura une action plus forte que précédemment dans ces mêmes rayons, et l'on trouvera maintenant dans le jaune, l'orangé et le rouge une action, là où primi-

tivement il n'y en avait aucune, et au delà de A on ne trouve plus rien ; de sorte que entre F et A on voit l'action d'un nouveau spectre, dont le maximum paraît entre D et E.

Voilà donc une action qui se manifeste dans la partie la moins réfrangible du spectre, où précédemment il ne s'en était manifesté aucune. Cela vient de ce que dans la première expérience, l'iodure n'avait pas été impressionné, et que dans la seconde, ayant été soumis à l'action des rayons les plus réfrangibles, il est sensible à l'action d'autres rayons que j'ai nommés pour cette substance et les autres sels d'argent, rayons continuateurs.

Si l'on expose de nouveau la lame dans la partie violette, qu'ensuite on la transporte dans les rayons les moins réfrangibles, on retrouve, pour les mêmes positions de l'actinomètre, des déviations plus considérables que la seconde fois, tandis que dans les rayons les plus réfrangibles, on retrouve les mêmes nombres de degrés de déviation. Une nouvelle exposition de la lame dans les parties du spectre donne les mêmes résultats, c'est-à-dire qu'à mesure que la lame est plus impressionnée, l'action des rayons chimiques les moins réfrangibles ou continuateurs est plus intense, tandis que celle des rayons les plus réfrangibles reste la même.

Cette augmentation d'action des rayons entre A et F va jusqu'à une certaine limite, en sorte que l'action maximum des rayons les moins réfrangibles ne dépasse guère l'action maximum des rayons excitateurs ou plus réfrangibles.

Si l'on a soin, comme je l'ai déjà dit plusieurs fois, que dans chaque expérience la portion de la lame qui est derrière l'écran ne reste exposée, dans la partie du spectre que l'on explore, que le temps nécessaire à l'accomplissement de la déviation de l'aiguille aimantée par première impulsion, l'iodure d'argent s'impressionne très peu ; et la même lame, exposée un grand nombre de fois dans les mêmes conditions de rayonnement, donne sensiblement lieu à la même déviation. Ce n'est qu'après avoir été très fortement impressionnée, qu'elle ne donne plus le même courant. Ce fait est très important à noter, car on peut faire avec la lame plusieurs séries d'expériences comparables entre elles.

Ainsi, on voit donc qu'en examinant l'action du spectre sur de

l'iodure d'argent (on retrouve la même action sur les chlorures, bromures, etc.), on reconnaît qu'il y a pour ainsi dire¹ deux spectres qui agissent sur lui: l'un situé dans la partie la plus réfrangible du spectre solaire, a son maximum entre G et H, et se termine d'un côté en F, et de l'autre en P, agit toujours avec la même intensité; l'autre spectre est situé depuis F jusqu'à A, a son maximum entre D et E, n'agit que sur le spectre déjà impressionné, et a une action d'autant plus intense, que la substance est plus impressionnée jusqu'à ce que l'action maximum atteigne à peu près l'action du maximum de l'autre spectre.

En passant sous silence tous les résultats consignés dans le Mémoire dont nous avons précédemment parlé, je vais indiquer les résultats plus précis que j'ai obtenus depuis, en fixant bien la position des raies. Auparavant, je vais rapporter les résultats obtenus par Fraunhofer, pour comparer les facultés éclairantes du spectre lumineux, afin de fixer la position des parties du spectre qui produisent des effets chimiques.

Couleurs du spectre	Raies du spectre	Facultés éclairantes des parties du spectre correspondantes.
Extrême rouge	A	Insensible
Orangé.....	B	0,0320
	C	0,0940
	D	0,6400
	{ Maximum entre D et E, situé à peu près à 0,3 de la distance DE, à partir de D. }	
Jaune		1.
Vert	E	0,4800
Commencement du bleu..	F	0,1700
Indigo	G	0,0310
Extrême violet	H	0,0056

On voit que c'est dans le jaune où se trouve la partie la plus lumineuse, et que la faculté éclairante décroît très rapidement en s'approchant vers les deux extrémités du spectre; car, vers H, elle n'est plus que les 5/1000 de ce qu'elle était au maximum. Ces résultats ne sont qu'approximatifs, car il est très difficile de comparer entre elles les intensités de deux lumières de couleur différente.

A l'aide de ces données, on peut construire la courbe qui représente, par ses ordonnées, le pouvoir éclairant des différentes par-

¹ pour ainsi dire = so to speak.

ties du spectre. Cette courbe est représentée, fig. 2, et est tracée par une ligne pleine. La valeur de l'ordonnée maximum est arbitraire; on ne doit considérer que le rapport des ordonnées entre elles, le rapport des abscisses aux ordonnées étant aussi arbitraire.

Je vais maintenant rapporter les nombres qui expriment les intensités du courant électrique produit par l'action chimique des différentes parties du spectre correspondant aux raies que nous venons de citer, sur l'iodure d'argent. Je supposerai que l'on soit arrivé à une limite telle que l'action du spectre des rayons continuatours soit à son maximum, et que le maximum des rayons excitateurs soit égal à celui des rayons continuatours. Pour que cette égalité ait lieu, il faut que l'iodure ait été assez fortement impressionné et qu'il présente même une coloration assez marquée; alors on a :

SPECTRE CHIMIQUE QUI AGIT SUR L'IODURE D'ARGENT.

Rayons	Raies du spectre	Intensité du courant électrique produit
Rayons Continuatours	A	0,05
	B	0,20
	C	0,32
	D	0,68
	Maximum entre D et E, à 0,6 de la distance DE à partir de D.	1 maximum
	E	0,75
	F	0,25
	Maximum d'action du spectre situé près de F entre F et G.	0,20 minimum
	G	0,65
	Maximum entre G et H, à peu près à 0,4 de la distance GH à partir de G.	1 maximum
Rayons excitateurs	H	0,72
	I	0,40
	M	0,27
	N	0,17
	O	0,13
	P	0,05

Ainsi, lorsqu'on agit sur de l'iodure non impressionné, on n'a une action qu'entre P et F, et encore est-elle nulle en F. Si la lame est impressionnée, on a une autre série de rayons actifs entre F et A, et même, lorsque le maximum de ceux-ci n'est pas le même

que le maximum des premiers, les rapports des nombres entre F et A donnent les rapports des effets produits.

On peut, à l'aide de ces nombres, construire une courbe des intensités, comme précédemment, par les facultés éclairantes, en prenant pour la valeur des maxima la même que pour le minimum de la précédente courbe. On a la courbe, fig. 2, $Pa\delta\zeta A$, qui présente deux maxima et un minimum; mais entre $\phi\delta O$, la portion de courbe est peut-être la réunion de deux courbes particulières des intensités d'actions des rayons excitateurs et continueurs correspondantes à des abscisses égales, de sorte que la courbe des intensités $Pa\delta\zeta F$ pourrait bien être la réunion des deux courbes $Pa\phi\mu F$ et $G\mu O\delta A$ correspondant aux deux spectres de rayons qui agissent sur l'iodure d'argent. La première est tracée par une ligne interrompue,¹ la seconde par une ligne ponctuée.²

Dans beaucoup de recherches que l'on fait, comme l'on emploie les changements chimiques que font éprouver les rayons solaires aux sels d'argent, il faut bien faire attention au mode d'action de ces rayons, qui présentent pour ainsi dire deux sortes de spectres chimiques, et c'est faute d'avoir fait attention³ à ces réactions, qu'on est arrivé à des résultats inexacts, comme nous le verrons plus loin.

Ces expériences et le tableau que nous avons donné ne sont relatifs qu'aux sels d'argent, puisque, comme nous l'avons dit, pour chaque substance impressionnable on observe des réactions différentes de la part des rayons solaires, qui n'ont pas lieu dans les mêmes portions du spectre. Mais ce sont ces résultats, obtenus avec l'iodure d'argent, que nous prendrons sans cesse pour exemples; car l'action chimique que lui fait éprouver le lumière s'étend depuis P jusqu'en A, plus loin qu'avec les autres substances chimiquement impressionnables, et que, comme nous le démontrerons, les rayons de même réfrangibilité qui agissent sur différentes substances se comportent de la même manière, par rapport aux écrans de même nature.

¹ ligne interrompue = broken line.

² ligne ponctuée = dotted line.

³ c'est faute d'avoir fait attention = it is on account of the failure to have noticed.

RECHERCHES SUR LES SUBSTANCES
RADIOACTIVES.

PAR MME. SKLODOWSKA CURIE.

*(Professeur de Chimie Physique à la Sorbonne, Paris.)**Annales de Chimie et de Physique, Septième Série, Vol. 30.*

HISTORIQUE.

La découverte des phénomènes de la radioactivité se rattache aux recherches poursuivies depuis la découverte des rayons Röntgen sur les effets photographiques des substances phosphorescentes et fluorescentes.

Les premiers tubes producteurs de rayons Röntgen étaient des tubes sans anticathode métallique. La source de rayons Röntgen se trouvait sur la paroi de verre frappée par les rayons cathodiques; en même temps cette paroi était vivement fluorescente. On pouvait alors se demander si l'émission de rayons Röntgen n'accompagnait pas nécessairement la production de la fluorescence, quelle que fût¹ la cause de cette dernière. Cette idée a été énoncée tout d'abord par M. Henri Poincaré.

Peu de temps après, M. Henry annonça qu'il avait obtenu des impressions photographiques au travers du papier noir à l'aide du sulfure de zinc phosphorescent. M. Niewenglowsky obtint le même phénomène avec du sulfure de calcium exposé à la lumière. Enfin, M. Troost obtint de fortes impressions photographiques avec de la blende hexagonale artificielle phosphorescente agissant au travers du papier noir et un gros carton.

Les expériences qui viennent d'être citées n'ont pu être reproduites malgré les nombreux essais faits dans ce but. On ne peut donc nullement considérer comme prouvé que le sulfure de zinc et le sulfure de calcium soient capables d'émettre, sous l'action de la lumière, des radiations invisibles qui traversent le papier noir et agissent sur les plaques photographiques.

M. Becquerel a fait des expériences analogues sur les sels d'uranium dont quelques-uns sont fluorescents.

Il obtint des impressions photographiques au travers du papier noir avec le sulfate double d'uranyle et de potassium.

¹ quelle que fût = whatever may be.

M. Becquerel crut d'abord que ce sel, qui est fluorescent, se comportait comme le sulfure de zinc et le sulfure de calcium dans les expériences de MM. Henry, Niewenglowsky et Troost. Mais la suite de ses expériences montra que le phénomène observé n'était nullement relié à la fluorescence. Il n'est pas nécessaire que le sel soit éclairé; de plus, l'uranium et tous ses composés, fluorescents ou non, agissent de même, et l'uranium métallique est le plus actif. M. Becquerel trouva ensuite qu'en plaçant les composés d'urane dans l'obscurité complète ils continuent à impressionner les plaques photographiques au travers du papier noir pendant des années. M. Becquerel admit que l'uranium et ses composés émettent des rayons particuliers: rayons uraniques. Il prouva que ces rayons peuvent traverser des écrans métalliques minces et qu'ils déchargent les corps électrisés. Il fit aussi des expériences d'après lesquelles il conclut que les rayons uraniques éprouvaient la reflexion, la réfraction et la polarisation.

Les travaux d'autres physiciens (Elster et Geitel, lord Kelwin, Schmidt, Rutherford, Beattie et Smoluchowsky) sont venus confirmer et étendre les résultats des recherches de M. Becquerel, sauf en ce qui concerne reflexion, la réfraction et la polarisation des rayons uraniques, lesquels, à ce point de vue, se comportent comme les rayons Röntgen, comme cela a été reconnu par M. Rutherford d'abord, et ensuite par M. Becquerel lui-même.

RADIOACTIVITÉ DE L'URANIUM ET DU THORIUM.

Minéraux Radioactifs.

Rayons de Becquerel.—Les rayons uraniques, découverts par M. Becquerel, impressionnent les plaques photographiques à l'abri de la lumière; ils peuvent traverser toutes les solutions solides, liquides et gazeuses, à condition que l'épaisseur en soit suffisamment faible; en traversant les gaz, ils les rendent faiblement conducteurs de l'électricité.

Ces propriétés des composés d'urane ne sont dues à aucune cause excitatrice connue. Le rayonnement semble spontané; il ne diminue point d'intensité quand on conserve les composés d'urane dans l'obscurité complète pendant des années; il ne s'agit

donc pas là d'une phosphorescence particulière produite par la lumière.

La spontanéité et la constance du rayonnement uranique se présentaient comme un phénomène physique tout à fait extraordinaire. M. Becquerel a conservé un morceau d'uranium pendant plusieurs années dans l'obscurité, et il a constaté qu'au bout de ce temps l'action sur la plaque photographique n'avait pas varié sensiblement. MM. Elster et Geitel ont fait une expérience analogue et ont trouvé également que l'action était constante.

J'ai mesuré l'intensité du rayonnement de l'uranium en utilisant l'action de ce rayonnement sur la conductibilité de l'air. La méthode de mesure sera exposée plus loin. J'ai ainsi obtenu des nombres qui prouvent la constance du rayonnement dans les limites de précision des expériences, c'est-à-dire 2 pour 100 ou 3 pour 100 près.

En utilisant pour ces mesures un plateau métallique recouvert d'une couche d'uranium en poudre; ce plateau n'était d'ailleurs pas conservé dans l'obscurité; cette condition s'étant montrée sans importance d'après les observateurs cités précédemment. Le nombre des mesures effectuées avec ce plateau est très grand, et actuellement ces mesures portent sur un intervalle de temps de 5 années.

Des recherches furent faites pour reconnaître si d'autres substances peuvent agir comme les composés d'urane. M. Schmidt publia le premier que le thorium et ses composés possèdent également cette faculté. Un travail analogue fait en même temps m'a donné le même résultat. J'ai publié ce travail, n'ayant pas encore eu connaissance de la publication de M. Schmidt.

Nous dirons que l'uranium, le thorium et leurs composés émettent des rayons de Becquerel. J'ai appelé radioactives les substances qui donnent lieu à une émission de ce genre. Ce nom a été depuis généralement adopté.

Par leurs effets photographiques et électriques les rayons de Becquerel se rapprochent des rayons de Röntgen. Ils ont aussi, comme ces derniers, la faculté de traverser toute matière. Mais leur pouvoir de pénétration est extrêmement différent: les rayons de l'uranium et du thorium sont arrêtés par quelques millimètres de matière solide et ne peuvent franchir dans l'air une distance

supérieure à quelques centimètres; tout au moins en est-il ainsi pour la grosse partie du rayonnement.

Les travaux de divers physiciens, et, en premier lieu, de M. Rutherford, ont montré que les rayons de Becquerel n'éprouvent ni réflexion régulière, ni réfraction, ni polarisation.

Le faible pouvoir pénétrant des rayons uraniques et thoriques conduirait à les assimiler aux rayons secondaires qui sont produits par les rayons Röntgen, et dont l'étude a été faite par M. Sagnac, plutôt qu'aux rayons Röntgen eux-mêmes.

D'autre part, on peut chercher à rapprocher les rayons de Becquerel de rayons cathodiques se propageant dans l'air (rayons de Lenard). On sait aujourd'hui que ces divers rapprochements sont tous légitimes.

Mesure de L'Intensité du Rayonnement.—La méthode employée consiste à mesurer la conductibilité acquise par l'air sous l'action des substances radioactives; cette méthode a l'avantage d'être rapide et de fournir des nombres que l'on peut comparer entre eux. L'appareil que j'ai employé à cet effet se compose essentiellement d'un condensateur à plateaux AB. La substance active finement pulvérisée est étalée sur le plateau B; elle rend conducteur l'air entre les plateaux. Pour mesurer cette conductibilité, on porte le plateau B à un potentiel élevé, en le reliant à l'un des pôles d'une batterie de petits accumulateurs P, dont l'autre pôle est à terre. Le plateau A étant maintenu au potentiel du sol par le fil CD, un courant électrique s'établit entre les deux plateaux. Le potentiel du plateau A est indiqué par un électromètre E. Si l'on interrompt en C la communication avec le sol, le plateau A se charge, et cette charge fait dévier l'électromètre. La vitesse de la déviation est proportionnelle à l'intensité du courant et peut servir à la mesurer.

Mais il est préférable de faire cette mesure en compensant la charge que prend le plateau A, de manière à maintenir l'électromètre au zéro. Les charges, dont il est question ici, sont extrêmement faibles; elles peuvent être compensées au moyen d'un quartz piézo-électrique Q, dont une armature est reliée au plateau A, et l'autre armature est à terre. On soumet la lame de quartz à une traction connue produite par des poids placés dans un plateau π ;

cette traction est établie progressivement et, a pour effet de dégager progressivement une quantité d'électricité connue pendant un temps qu'on mesure. L'opération peut être réglée de telle manière, qu'il y ait à chaque instant compensation entre la quantité d'électricité qui traverse le condensateur et celle de signe contraire que fournit le quartz. On peut ainsi mesurer en valeur absolue la quantité d'électricité qui traverse le condensateur pendant un temps donné, c'est-à-dire l'intensité du courant. La mesure est indépendante de la sensibilité de l'électromètre.

En effectuant un certain nombre de mesures de ce genre, on voit que la radioactivité est un phénomène susceptible d'être mesuré avec une certaine précision. Elle varie peu avec la température, elle est à peine influencée par les oscillations de la température ambiante; elle n'est pas influencée par l'éclairement de la substance active. L'intensité du courant qui traverse le condensateur augmente avec la surface des plateaux. Pour un condensateur donné et une substance donnée le courant augmente avec la différence de potentiel qui existe entre les plateaux, avec la pression du gaz qui remplit le condensateur et avec la distance des plateaux (pourvu que cette distance ne soit pas trop grande par rapport au diamètre). Toutefois, pour de fortes différences de potentiel, le courant tend vers une valeur limite qui est pratiquement constante. C'est le courant de saturation ou courant limite. De même pour une certaine distance des plateaux assez grande, le courant ne varie plus guère avec cette distance. C'est le courant obtenu dans ces conditions qui a été pris comme mesure de radioactivité dans mes recherches, le condensateur étant placé dans l'air à la pression atmosphérique.

En plus de la différence de potentiel que l'on établit entre les plateaux, il existe entre ces derniers une force électromotrice de contact, et ces deux causes de courant ajoutent leurs effets; c'est pourquoi la valeur absolue de l'intensité du courant change avec le signe de la différence de potentiel extérieure. Toutefois, pour des différences de potentiel notables, l'effet de la force électromotrice de contact est négligeable, et l'intensité du courant est alors la même, quel que soit le sens du champ entre les plateaux.

L'étude de la conductibilité de l'air et d'autres gaz soumis à

l'action des rayons de Becquerel a été faite par plusieurs physiciens. Une étude très complète du sujet a été publiée par M. Rutherford.

Les lois de la conductibilité produite dans les gaz par les rayons de Becquerel sont les mêmes que celles trouvées avec les rayons Röntgen. Le mécanisme du phénomène paraît être le même dans les deux cas. La théorie de l'ionisation des gaz par l'effet des rayons Röntgen ou Becquerel rend très bien compte¹ des faits observés. Cette théorie ne sera pas exposée ici. Je rappellerai seulement les résultats auxquels elle conduit :

1° Le nombre d'ions produits par seconde dans le gaz est considéré comme proportionnel à l'énergie de rayonnement absorbée par le gaz ;

2° Pour obtenir le courant limite relatif à un rayonnement donné, il faut, d'une part, faire absorber intégralement ce rayonnement par le gaz, en employant une masse absorbante suffisante ; d'autre part, il faut utiliser pour la production du courant tous les ions créés, en établissant un champ électrique assez fort pour que le nombre des ions qui se recombinent devienne une fraction insignifiante du nombre total des ions produits dans le même temps, qui sont presque tous entraînés par le courant et amenés aux électrodes. Le champ électrique moyen nécessaire pour obtenir ce résultat est d'autant plus élevé que l'ionisation est plus forte.

D'après les recherches récentes de M. Townsend, le phénomène est plus complexe quand la pression du gaz est faible. Le courant semble d'abord tendre vers une valeur limite constante quand la différence de potentiel augmente ; mais, à partir d'une certaine différence de potentiel, le courant recommence à croître avec le champ, et cela avec une rapidité très grande. M. Townsend admet que cet accroissement est dû à une ionisation nouvelle produite par les ions eux-mêmes quand ceux-ci, sous l'action du champ électrique, prennent une vitesse suffisante pour qu'une molécule du gaz, rencontrée par un de ces projectiles, se trouve brisée et divisée en ses ions constituants. Un champ électrique intense et une pression faible favorisent cette ionisation par les ions déjà présents,

¹ rend compte = accounts for.

et, aussitôt que celle-ci commence à se produire, l'intensité du courant croît constamment avec le champ moyen entre les plateaux. Le courant limite ne saurait donc être obtenu qu'avec des causes ionisantes, dont l'intensité ne dépasse pas une certaine valeur, de telle façon que la saturation corresponde à des champs pour lesquels l'ionisation par choc des ions ne peut encore avoir lieu. Cette condition se trouvait réalisée dans mes expériences.

L'ordre de grandeur des courants de saturation que l'on obtient avec les composés d'urane est de 10^{-11} ampères pour un condensateur dont les plateaux ont 8 cm de diamètre et sont distants de 3 cm. Les composés de thorium donnent lieu à des courants du même ordre de grandeur, et l'activité des oxydes d'uranium et de thorium est très analogue.

Radioactivité des Composés d'Uranium et de Thorium.—Voici les nombres que j'ai obtenus avec divers composés d'urane; je désigne par i l'intensité du courant en ampères :

	$i \times 10^9$
Uranium métallique (contenant un peu de carbone)....	2,3
Oxyde d'urane noir U_3O_8	2,6
Oxyde d'urane vert U_2O_5	1,8
Acide uranique hydraté	0,6
Uranate de potassium	1,2
Uranate de sodium	1,2
Uranate d'ammonium	1,3
Sulfate uraneux	0,7
Sulfate d'uranyle et de potassium.....	0,7
Azotate d'uranyle	0,7
Phosphate de cuivre et d'uranyle.....	0,9
Oxysulfure d'urane	1,2

L'épaisseur de la couche du composé d'urane employé a peu d'influence, pourvu que la couche soit continue. Voici quelques expériences à ce sujet :

	Épaisseur de la couche	$i \times 10^9$
Oxyde d'urane	0,5 mm.	2,7
	3,0	3,0
Urate d'ammonium	0,5	1,3
	3,0	1,4

On peut conclure de là que l'absorption des rayons uraniques par la matière qui les émet est très forte, puisque les rayons

venant des couches profondes ne peuvent pas produire d'effet notable.

Les nombres que j'ai obtenus avec les composés du thorium m'ont permis de constater :

1° Que l'épaisseur de la couche employée a une action considérable, surtout avec l'oxyde ;

2° Que le phénomène n'est régulier que si l'on emploie une couche active mince (0 mm., 25 par exemple). Au contraire, quand on emploie une couche de matière épaisse (6 mm.), on obtient des nombres oscillant entre des limites étendues, surtout dans le cas de l'oxyde :

	Épaisseur de la couche	$i \times 10^4$
Oxyde de thorium	0,25 mm.	2,2
	0,5	2,5
	2,5	4,7
	3,0	5,5 en moyenne
	6,0	5,5
Sulfate de thorium	0,25	0,8

Il y a dans la nature du phénomène une cause d'irrégularité qui n'existe pas dans le cas des composés d'urane. Les nombres obtenus pour une couche d'oxyde de 6 mm. d'épaisseur variaient entre 3,7 et 7,3.

Les expériences que j'ai faites sur l'absorption des rayons uraniques et thoriques ont montré que les rayons thoriques sont plus pénétrants que les rayons uraniques et que les rayons émis par l'oxyde de thorium en couche épaisse sont plus pénétrants que ceux qu'il émet en couche mince. Voici, par exemple, les nombres qui indiquent la fraction du rayonnement que transmet une lame d'aluminium dont l'épaisseur est 0,01 mm. :

Substance rayonnante	Fraction du rayonnement transmise par la lame
Uranium	0,18
Oxyde d'urane U_2O_5	0,20
Uranate d'ammonium	0,20
Phosphate d'urane et de cuivre.....	0,21
Oxyde de thorium sous épaisseur.....0,25 mm.....	0,38
Oxyde de thorium sous épaisseur.....0,5 mm.....	0,47
Oxyde de thorium sous épaisseur.....3,0 mm.....	0,70
Oxyde de thorium sous épaisseur.....6,0 mm.....	0,70
Sulfate de thorium	0,25 mm..... 0,38

Avec les composés d'urane, l'absorption est la même quel que soit le composé employé, ce qui porte à croire¹ que les rayons émis par les divers composés sont de même nature.

Les particularités de la radiation thorique ont été l'objet de publications très complètes. M. Owens a montré que la constance du courant n'est obtenue qu'au bout d'un temps assez long en appareil clos, et que l'intensité de courant est fortement réduite par l'action d'un courant d'air (ce qui n'a pas lieu pour les composés d'uranium). M. Rutherford a fait des expériences analogues et les a interprétées en admettant que le thorium et ses composés émettent non seulement des rayons de Becquerel, mais encore une émanation, constituée par des particules extrêmement ténues,² qui restent radioactives pendant quelque temps après leur émission et peuvent être entraînées par un courant d'air.

Les caractères de la radiation thorique qui sont relatifs à l'influence de l'épaisseur de la couche employée et à l'action des courants d'air ont une liaison étroite avec le phénomène de la radioactivité induite et de sa propagation de proche en proche. Ce phénomène a été observé pour la première fois avec le radium et sera décrit plus loin.

La radioactivité des composés d'uranium et de thorium se présente comme une propriété atomique. M. Becquerel avait déjà observé que tous les composés d'uranium sont actifs et avait conclu que leur activité était due à la présence de l'élément uranium; il a montré également que l'uranium était plus actif que ses sels. J'ai étudié à ce point de vue les composés de l'uranium et du thorium et j'ai fait un grand nombre de mesures de leur activité dans diverses conditions. Il résulte de l'ensemble de ces mesures que la radioactivité de ces substances est bien effectivement une propriété atomique. Elle semble ici liée à la présence des atomes des deux éléments considérés et n'est détruite ni par les changements d'état physique ni par les transformations chimiques. Les combinaisons chimiques et les mélanges contenant de l'uranium ou du thorium sont d'autant plus actifs qu'ils contiennent une plus forte proportion de ces métaux, toute matière in-

¹ ce qui porte à croire = which leads one to believe.

² ténues = minute.

active agissant à la fois comme matière inerte et matière absorbant le rayonnement.

La Radioactivité Atomique est-elle un Phénomène Général?—

Comme il a été dit plus haut, j'ai cherché si d'autres substances que les composés d'uranium et de thorium étaient radioactives. J'ai entrepris cette recherche dans l'idée qu'il était fort peu probable que la radioactivité considérée comme propriété atomique, appartint à une certaine espèce de matière, à l'exclusion de toute autre. Les mesures que j'ai faites me permettent de dire que pour les éléments chimiques actuellement considérés comme tels, y compris¹ les plus rares et les plus hypothétiques, les composés étudiés par moi ont été toujours au moins 100 fois moins actifs dans mon appareil que l'uranium métallique. Dans le cas des éléments répandus, j'ai étudié plusieurs composés; dans le cas des corps rares, j'ai étudié les composés que j'ai pu me procurer.

Voici la liste des substances qui ont fait partie de mon étude sous forme d'élément ou de combinaison :

1° Tous les métaux ou métalloïdes que l'on trouve facilement et quelques-uns, plus rares, produits purs, provenant de la collection de M. Etard, à l'École de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris.

2° Les corps suivants rares : gallium, germanium, néodyme, praséodyme, niobium, scandium, gadolinium, erbium, samarium et rubidium (échantillons prêtés par M. Demarçay); yttrium, ytterbium avec nouvel erbium (échantillons prêtés par M. Urbain);.

3° Un grand nombre de roches et de minéraux.

Dans les limites de sensibilité de mon appareil je n'ai pas trouvé de substance simple autre que l'uranium et le thorium, qui soit douée de radioactivité atomique. Il convient toutefois de dire quelques mots sur ce qui est relatif au phosphore. Le phosphore blanc humide, placé entre les plateaux du condensateur, rend conducteur l'air entre les plateaux. Toutefois, je ne considère pas ce corps comme radioactif à la façon de l'uranium et du thorium. Le phosphore, en effet, dans ces conditions, s'oxyde et émet des rayons lumineux, tandis que les composés d'uranium

¹ y compris = including.

et de thorium sont radioactifs sans éprouver aucune modification chimique appréciable par les moyens connus. De plus, le phosphore n'est actif ni à l'état de phosphore rouge, ni à l'état de combinaison.

Dans un travail récent, M. Bloch vient de montrer que le phosphore, en s'oxydant en présence de l'air, donne naissance à des ions très peu mobiles qui rendent l'air conducteur et provoquent la condensation de la vapeur d'eau.

L'uranium et le thorium sont les deux éléments qui possèdent les plus forts poids atomiques (240 et 232); ils se rencontrent fréquemment dans les mêmes minéraux.

Minéraux Radioactifs.—J'ai examiné dans mon appareil plusieurs minéraux; certains d'entre eux se sont montrés actifs, entre autres la pechblende, la chalcopite, l'autunite, la monazite, la thorite, l'organite, la fergusonite, la clévite, etc. Voici un tableau qui donne en ampères l'intensité i du courant obtenu avec l'uranium métallique et avec divers minéraux:

	$i \times 10^4$
Uranium	2,3
Pechblende de Johanngeorgenstadt	8,3
Pechblende de Joachimsthal	7,0
Pechblende de Pzibran	6,5
Pechblende de Cornwallis	1,6
Clévite	1,4
Chalcopite	5,2
Autunite	2,7
	0,1
	0,3
	0,7
Thorites diverses	1,3
	1,4
Orangite	2,0
Monazite	0,5
Xenotime	0,03
Aeschynite	0,7
Fergusonite, 2 échantillons	0,4
	0,1
Samaraskite	1,1
Niobite, 2 échantillons	0,1
	0,3
Tantalite	0,02
Carnotite	6,2

(La carnotite est un minéral de vanadate d'urane récemment découvert par Friedel et Cumenge.)

Le courant obtenu avec l'orangite (minéral d'oxyde de thorium) variait beaucoup avec l'épaisseur de la couche employée. En augmentant cette épaisseur depuis 0,25 mm. à 6 mm., on faisait croître le courant de 1,8 à 2,3.

Tous les minéraux qui se montrent radioactifs contiennent de l'uranium ou du thorium; leur activité n'a donc rien d'étonnant, mais l'intensité du phénomène pour certains minéraux est inattendue. Ainsi, on trouve des pechblendes (minerais d'oxyde d'urane) qui sont 4 fois plus actives que l'uranium métallique. La chalcélite (phosphate de cuivre et d'urane cristallisé) est 2 fois plus active que l'uranium. Ces faits étaient en désaccord avec les considérations précédentes, d'après lesquelles aucun minéral n'aurait dû se montrer plus actif que l'uranium ou le thorium.

Pour éclaircir ce point, j'ai préparé de la chalcélite artificielle par le procédé de Debray, en partant de produits purs. Ce procédé consiste à mélanger une dissolution d'azotate d'uranyle avec une dissolution de phosphate de cuivre dans l'acide phosphorique, et à chauffer vers 50° ou 60°. Au bout de quelque temps, des cristaux de chalcélite se forment dans la liqueur.

La chalcélite ainsi obtenue possède une activité tout à fait normale, étant donnée sa composition; elle est deux fois et demie moins active que l'uranium.

Il devenait dès lors très probable que si la pechblende, la chalcélite, l'autunite ont une activité si forte, c'est que ces substances renferment en petite quantité une matière fortement radioactive, différente de l'uranium, du thorium et des corps simples actuellement connus. J'ai pensé que, s'il en était effectivement ainsi, je pouvais espérer extraire cette substance du minéral par les procédés ordinaires de l'analyse chimique.

LES NOUVELLES SUBSTANCES RADIOACTIVES.

Méthode de Recherches.—Les résultats de l'étude des minéraux radioactifs, énoncés dans le chapitre précédent, nous ont engagés, M. Curie et moi, à chercher à extraire de la pechblende une

nouvelle substance radioactive. Notre méthode de recherches ne pouvait être basée que sur la radioactivité, puisque nous ne connaissions aucun autre caractère de la substance hypothétique. Voici comment on peut se servir de la radioactivité pour une recherche de ce genre. On mesure la radioactivité d'un produit, on effectue sur ce produit une séparation chimique; on mesure la radioactivité de tous les produits obtenus, et l'on se rend compte¹ si la substance radioactive est restée intégralement avec l'un d'eux, ou bien si elle s'est partagée entre eux et en quelle proportion. On a ainsi une indication que peut être comparée, en une certaine mesure, à celle que pourrait fournir l'analyse spectrale. Pour avoir des nombres comparables, il faut mesurer l'activité des substances à l'état solide et bien desséchées.

Polonium, Radium, Actinium.—L'analyse de la pechblende, avec le concours de la méthode qui vient d'être exposée, nous a conduits à établir l'existence, dans ce minéral, de deux substances fortement radioactives, chimiquement différentes: le polonium, trouvé par nous, et le radium, que nous avons découvert en collaboration avec M. Bémont.

Le polonium est une substance voisine du bismuth au point de vue analytique et l'accompagne dans les séparations. On obtient du bismuth de plus en plus riche en polonium par l'un des procédés de fractionnement suivants:

1° Sublimation des sulfures dans le vide; le sulfure actif est beaucoup plus volatil que le sulfure de bismuth.

2° Précipitation des solutions azotiques par l'eau; le sous-nitrate précipité est beaucoup plus actif que le sel qui reste dissous.

3° Précipitation par l'hydrogène sulfuré d'une solution chlorhydrique extrêmement acide; les sulfures précipités sont considérablement plus actifs que le sel qui reste dissous.

Le radium est une substance qui accompagne le baryum retiré de la pechblende; il suit le baryum dans ses réactions et s'en sépare par différence de solubilité des chlorures dans l'eau, l'eau alcoolisée ou l'eau additionnée d'acide chlorhydrique. Nous effectuons la séparation des chlorures de baryum et de radium, en

¹ on se rend compte = one can judge, one can ascertain.

soumettant leur mélange à une cristallisation fractionnée, le chlorure de radium étant moins soluble que celui de baryum.

Une troisième substance fortement radioactive a été caractérisée dans la pechblende par M. Debiere, qui lui a donné le nom d'actinium. L'actinium accompagne certains corps du groupe du fer contenus dans la pechblende; il semble surtout voisin du thorium dont il n'a pu encore être séparé. L'extraction de l'actinium de la pechblende est une opération très pénible, les séparations étant généralement incomplètes.

Toutes les trois substances radioactives nouvelles se trouvent dans la pechblende en quantité absolument infinitésimale. Pour les obtenir à l'état concentré, nous avons été obligés d'entreprendre le traitement de plusieurs tonnes de résidus de minerai d'urane. Le gros traitement se fait dans une usine; il est suivi de tout un travail de purification et de concentration. Nous arrivons ainsi à extraire de ces milliers de kilogrammes de matière première quelques décigrammes de produits qui sont prodigieusement actifs par rapport au minerai dont ils proviennent. Il est bien évident que l'ensemble de ce travail est long, pénible et coûteux.

D'autres substances radioactives nouvelles ont encore été signalées à la suite de notre travail. M. Giesel, d'une part, MM. Hoffman et Strauss, d'autre part, ont annoncé l'existence probable d'une substance radioactive voisine du plomb par ses propriétés chimiques. On ne possède encore que peu de renseignements sur cette substance.

De toutes les substances radioactives nouvelles, le radium est, jusqu'à présent, la seule qui ait été isolée à l'état de sel pur.

Spectre du Radium.—Il était de première importance de contrôler, par tous les moyens possibles, l'hypothèse, faite dans ce travail, de l'existence d'éléments nouveaux radioactifs. L'analyse spectrale est venue, dans le cas du radium, confirmer d'une façon complète cette hypothèse.

M. Demarçay a bien voulu se charger de¹ l'examen des substances radioactives nouvelles, par les procédés rigoureux qu'il emploie dans l'étude des spectres d'étincelle photographiés.

¹ se charger de = to undertake.

Le concours d'un savant aussi compétent a été pour nous un grand bienfait, et nous lui gardons une reconnaissance profonde d'avoir consenti à faire ce travail. Les résultats de l'analyse spectrale sont venus nous apporter la certitude, alors que nous étions encore dans le doute sur l'interprétation des résultats de nos recherches.

Les premiers échantillons de chlorure de baryum radifère médiocrement actif, examinés par M. Demarçay, lui montrèrent, en même temps que les raies du baryum, une raie nouvelle d'intensité notable et de longueur d'onde = $381\ \mu\mu,47$ dans le spectre ultra-violet. Avec des produits plus actifs, préparés ensuite, Demarçay vit la raie $381\ \mu\mu,47$ se renforcer; en même temps d'autres raies nouvelles apparurent, et dans le spectre les raies nouvelles et les raies du baryum avaient des intensités comparables. Une nouvelle concentration a fourni un produit, pour lequel le nouveau spectre domine, et les trois plus fortes raies du baryum, seules visibles, indiquent seulement la présence de ce métal à l'état d'impureté. Ce produit peut être considéré comme du chlorure de radium à peu près pur. Enfin j'ai pu, par une nouvelle purification, obtenir un chlorure extrêmement pur, dans le spectre duquel les deux raies dominantes du baryum sont à peine visibles.

Voici, d'après Demarçay, la liste des raies principales du radium pour la portion du spectre comprise entre $\lambda = 500,0$ et $\lambda = 350,0$ millièmes de micron ($\mu\mu$). L'intensité de chaque raie est indiquée par un nombre, la plus forte raie étant marquée 16.

λ	Intensité	λ	Intensité
482,63	10	460,03	3
472,69	5	453,35	9
469,98	3	443,61	8
469,21	7	434,06	12
468,30	14	381,47	16
464,19	4	364,96	12

Toutes les raies sont nettes et étroites, les trois raies $381,47$, $468,30$, et $434,06$ sont fortes; elles atteignent l'égalité avec les raies les plus intenses actuellement connues. On aperçoit également dans le spectre deux bandes nébuleuses fortes. La première, symétrique, s'étend de $463,10$ à $462,19$ avec maximum à $462,75$. La deuxième, plus forte, est dégradée vers l'ultra-violet; elle

commence brusquement à 446,37, passe par un maximum à 445,52; la région du maximum s'étend jusqu'à 445,34, puis une bande nébuleuse, graduellement dégradée, s'étend jusque vers 439.

Dans la partie la moins réfrangible non photographiée du spectre d'étincelle, la seule raie notable est la raie 566,5 (environ), bien plus faible cependant que 482,63.

L'aspect général du spectre est celui des métaux alcalino-terreux; on sait que ces métaux ont des spectres de raies fortes avec quelques bandes nébuleuses.

D'après Demarçay, le radium peut figurer parmi les corps ayant la réaction spectrale la plus sensible. J'ai, d'ailleurs, pu conclure, d'après mon travail de concentration, que, dans le premier échantillon examiné qui montrait nettement la raie 381,47, la proportion de radium devait être très faible (peut-être 0,02 pour 100). Cependant, il faut une activité 50 fois plus grande que celle de l'uranium métallique pour apercevoir nettement la raie principale du radium dans les spectres photographiés. Avec un électromètre sensible, on peut déceler la radioactivité d'un produit quand elle n'est que 1/100 de celle de l'uranium métallique. On voit que, pour déceler la présence du radium, la radioactivité est un caractère plusieurs milliers de fois plus sensible que la réaction spectrale.

Le bismuth à polonium très actif et le thorium à actinium très actif, examinés par M. Demarçay, n'ont encore respectivement donné que les raies du bismuth et du thorium.

Dans une publication récente, M. Giesel, qui s'est occupé de la préparation du radium, annonce que le bromure de radium donne lieu à une coloration carmin de la flamme. Le spectre de flamme du radium contient deux belles bandes rouges, une raie dans le bleu vert et deux lignes faibles dans le violet.

Extraction des Substances Radioactives Nouvelles.—La première partie de l'opération consiste à extraire des minerais d'urane le baryum radifère, le bismuth polonifère et les terres rares contenant l'actinium. Ces trois premiers produits ayant été obtenus, on cherche, pour chacun d'eux, à isoler la substance radioactive nouvelle. Cette deuxième partie du traitement se fait par une méthode de fractionnement. On sait qu'il est difficile de trouver

un moyen de séparation très parfait entre des éléments très voisins ; les méthodes de fractionnement sont donc tout indiquées. D'ailleurs, quand un élément se trouve mélangé à un autre à l'état de trace, on ne peut appliquer au mélange une méthode de séparation parfaite, même en admettant que l'on en connaisse une ; on risquerait en effet, de perdre la trace de matière qui aurait pu être séparée dans l'opération.

Je me suis occupée spécialement du travail ayant pour but l'isolement du radium et du polonium. Après un travail de quelques années, je n'ai encore réussi que pour le premier de ces corps.

La pechblende étant un minerai coûteux, nous avons renoncé à en traiter de grandes quantités. En Europe, l'extraction de ce minerai se fait dans la mine de Joachimsthal, en Bohême. Le minerai broyé est grillé avec du carbonate de soude, et la matière résultant de ce traitement est lessivée d'abord à l'eau chaude, puis à l'acide sulfurique étendu. La solution contient l'uranium qui donne à la pechblende sa valeur. Le résidu insoluble est rejeté.

Ce résidu contient des substances radioactives ; son activité est 4 fois et demie plus grande que celle de l'uranium métallique. Le gouvernement autrichien, auquel appartient la mine, nous a gracieusement donné une tonne de ce résidu pour nos recherches, et a autorisé la mine à nous fournir plusieurs autres tonnes de cette matière.

Il n'est guère facile de faire le premier traitement du résidu à l'usine par les mêmes procédés qu'au laboratoire. M. Debiérne a bien voulu étudier cette question et organiser le traitement dans l'usine. Le point le plus important de la méthode qu'il a indiquée consiste à obtenir la transformation des sulfates en carbonates par l'ébullition de la matière avec une dissolution concentrée de carbonate de soude. Ce procédé permet d'éviter la fusion avec le carbonate de soude.

Le résidu contient principalement des sulfates de plomb et de chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer. On y trouve, en outre, en quantité plus ou moins grande, presque tous les métaux (cuivre, bismuth, zinc, cobalt, manganèse, nickel, vanadium, antimoine, thallium, terres rares, niobium, tantale, arsenic, baryum, etc.). Le radium se trouve, dans ce mélange, à

l'état de sulfate et en constitue le sulfate le moins soluble. Pour le mettre en dissolution, il faut éliminer autant que possible l'acide sulfurique. Pour cela, on commence par traiter le résidu par une solution concentrée et bouillante de soude ordinaire. L'acide sulfurique combiné au plomb, à l'alumine, à la chaux, passe, en grande partie, en dissolution à l'état de sulfate de soude que l'on enlève par des lavages à l'eau. La dissolution alcaline enlève en même temps du plomb, de la silice, de l'alumine. La portion insoluble lavée à l'eau est attaquée par l'acide chlorhydrique ordinaire. Cette opération désagrège complètement la matière et en dissout une grande partie. De cette dissolution on peut retirer le polonium et l'actinium; le premier est précipité par l'hydrogène sulfuré, le second se trouve dans les hydrates précipités par l'ammoniaque dans la dissolution séparée des sulfures et peroxydes. Quant au radium, il reste dans la portion insoluble. Cette portion est lavée à l'eau, puis traitée par une dissolution concentrée et bouillante de carbonate de soude. S'il ne restait plus que peu de sulfates non attaqués, cette opération a pour effet de transformer complètement les sulfates de baryum et de radium en carbonates. On lave alors la matière très complètement à l'eau, puis on l'attaque par l'acide chlorhydrique étendu exempt d'acide sulfurique. La dissolution contient le radium, ainsi que du polonium et de l'actinium. On la filtre et on la précipite par l'acide sulfurique. On obtient ainsi des sulfates bruts de baryum radioactif contenant aussi de la chaux, du plomb, du fer et ayant aussi entraîné un peu d'actinium. La dissolution contient encore un peu d'actinium et de polonium qui peuvent en être retirés comme de la première dissolution chlorhydrique.

On retire d'une tonne de résidu de 10 kg. à 20 kg. de sulfates bruts dont l'activité est de 30 à 60 fois plus grande que celle de l'uranium métallique. On procède à leur purification. Pour cela, on les fait bouillir avec du carbonate de soude et on les transforme en chlorures. La dissolution est traitée par l'hydrogène sulfuré, ce qui donne une petite quantité de sulfures actifs contenant du polonium. On filtre la dissolution, on la peroxyde par l'action du chlore et on la précipite par de l'ammoniaque pure.

Les oxydes et hydrates précipités sont très actifs, et l'activité

est due à l'actinium. La dissolution filtrée est précipitée par le carbonate de soude. Les carbonates alcalino-terreux précipités sont lavés et transformés en chlorures.

Ces chlorures sont évaporés à sec et lavés avec de l'acide chlorhydrique concentré pur. Le chlorure de calcium se dissout presque entièrement, alors que le chlorure de baryum radifère reste insoluble. On obtient ainsi, par tonne de matière première, 8 kg. environ de chlorure de baryum radifère, dont l'activité est environ 60 fois plus grande que celle de l'uranium métallique. Ce chlorure est prêt pour le fractionnement.

Polonium.—Comme il a été dit plus haut, en faisant passer l'hydrogène sulfuré dans les diverses dissolutions chlorhydriques obtenues au cours de traitement, on précipite des sulfures actifs dont l'activité est due au polonium.

Ces sulfures contiennent principalement du bismuth, un peu de cuivre et de plomb; ce dernier métal ne s'y trouve pas en forte proportion, parce qu'il a été en grande partie enlevé par la dissolution sodique, et parce que son chlorure est peu soluble. L'antimoine et l'arsenic ne se trouvent dans les oxydes qu'en quantité minime, leurs oxydes ayant été dissous par la soude. Pour avoir de suite des sulfures très actifs, on employait le procédé suivant: les dissolutions chlorhydriques très acides étaient précipitées par l'hydrogène sulfuré: les sulfures qui se précipitent dans ces conditions sont très actifs, on les emploie pour la préparation du polonium; dans la dissolution il reste des substances dont la précipitation est incomplète en présence d'un excès d'acide chlorhydrique (bismuth, plomb, antimoine). Pour achever la précipitation, on étend la dissolution d'eau, on la traite à nouveau par l'hydrogène sulfuré et l'on obtient une seconde portion de sulfures beaucoup moins actifs que les premiers, et qui, généralement, ont été rejetés. Pour la purification ultérieure des sulfures, on les lave au sulfure d'ammonium, ce qui enlève les traces restantes d'antimoine et d'arsenic. Puis on les lave à l'eau additionnée d'azotate d'ammonium et on les traite par l'acide azotique étendu.

La dissolution n'est jamais complète; on obtient toujours un résidu insoluble plus ou moins important que l'on traite à nouveau

si on le juge utile. La dissolution est réduite à un petit volume et précipitée soit par l'ammoniaque, soit par beaucoup d'eau. Dans les deux cas le plomb et le cuivre restent en dissolution; dans le second cas un peu de bismuth à peine actif reste dissous également.

Le précipité d'oxydes ou de sous-azotates est soumis à un fractionnement de la manière suivante: on dissout le précipité dans l'acide azotique, on ajoute de l'eau à la dissolution, jusqu'à formation d'une quantité suffisante de précipité; pour cette opération il faut tenir compte de ce que le précipité ne se forme, quelquefois, qu'au bout d'un certain temps. On sépare le précipité du liquide surnageant, on le redissout dans l'acide azotique; sur les deux portions liquides ainsi obtenues on fait une précipitation par l'eau, et ainsi de suite. On réunit les diverses portions en se basant sur leur activité, et l'on tâche de pousser la concentration aussi loin que possible. On obtient ainsi une très petite quantité de matière dont l'activité est énorme, mais qui, néanmoins, n'a encore donné au spectroscopie que les raies du bismuth.

On a malheureusement peu de chances d'aboutir à l'isolement du polonium par cette voie. La méthode de fractionnement qui vient d'être décrite présente de grandes difficultés, et il en est de même pour d'autres procédés de fractionnement par voie humide. Quel que soit le procédé employé, il se forme avec la plus grande facilité des composés absolument insolubles dans les acides étendus ou concentrés.

Ces composés ne peuvent être redissous qu'en les ramenant préalablement à l'état métallique, par la fusion avec le cyanure de potassium, par exemple.

Etant donné le nombre considérable des opérations à effectuer, cette circonstance constitue une difficulté énorme pour le progrès du fractionnement. Cet inconvénient est d'autant plus grave que le polonium est une substance qui, une fois retirée de la pechblende, diminue d'activité.

Cette baisse¹ d'activité est d'ailleurs lente; c'est ainsi qu'un échantillon de nitrate de bismuth à polonium a perdu la moitié de son activité en onze mois.

¹ baisse = lowering.

Aucune difficulté analogue ne se présente pour le radium. La radioactivité reste un guide fidèle pour la concentration; cette concentration elle-même ne présente aucune difficulté, et les progrès du travail ont pu, depuis le début, être constamment contrôlés par l'analyse spectrale.

Quand les phénomènes de la radioactivité induite, dont il sera question plus loin, ont été connus, il a paru naturel d'admettre que le polonium, qui ne donne que les raies du bismuth et dont l'activité diminue avec le temps, n'est pas un élément nouveau, mais du bismuth activé par le voisinage du radium dans la pechblende. Je ne suis pas convaincue que cette manière de voir¹ soit exacte. Au cours de mon travail prolongé sur le polonium, j'ai constaté des effets chimiques que je n'ai jamais observés ni avec le bismuth ordinaire, ni avec le bismuth activé par le radium. Ces effets chimiques sont, en premier lieu, la formation extrêmement facile des composés insolubles dont j'ai parlé plus haut (spécialement sous-nitrates), en deuxième lieu, la couleur et l'aspect des précipités obtenus en ajoutant de l'eau à la solution azotique du bismuth polonifère. Ces précipités sont parfois blancs, mais plus généralement d'un jaune plus ou moins vif, allant au rouge foncé.

L'absence de raies, autres que celles du bismuth, ne prouve pas péremptoirement que la substance ne contient que du bismuth, car il existe des corps dont la réaction spectrale est peu sensible.

Il serait nécessaire de préparer une petite quantité de bismuth polonifère à l'état de concentration aussi avancé que possible, et d'en faire l'étude chimique, en premier lieu, la détermination du poids atomique du métal. Cette recherche n'a encore pu être faite à cause des difficultés de travail chimique signalées plus haut.

S'il était démontré que le polonium est un élément nouveau, il n'en serait pas moins vrai que cet élément ne peut exister indéfiniment à l'état fortement radioactif, tout au moins quand il est retiré du minéral. On peut alors envisager la question de deux manières différentes: 1° ou bien² toute l'activité du polonium est de la radioactivité induite par le voisinage de substances radioactives par elles-mêmes; le polonium aurait alors la faculté

¹ cette manière de voir = this point of view.

² ou bien = either.

de s'activer atomiquement d'une façon durable, faculté qui ne semble pas appartenir à une substance quelconque; 2° ou bien l'activité du polonium est une activité propre qui se détruit spontanément dans certaines conditions et peut persister dans certaines autres conditions qui se trouvent réalisées dans le minerai. Le phénomène de l'activité atomique au contact est encore si mal connu, que l'on manque de base pour se former une opinion cohérente sur ce qui touche à cette question.

Tout récemment a paru un travail de M. Marckwald sur le polonium. M. Marckwald plonge une baguette de bismuth pur dans une solution chlorhydrique du bismuth extrait du résidu de traitement de la pechblende. Au bout de quelque temps la baguette se recouvre d'un dépôt très actif, et la solution ne contient plus que du bismuth inactif. M. Marckwald obtient aussi un dépôt très actif en ajoutant du chlorure d'étain à une solution chlorhydrique de bismuth radioactif. M. Marckwald conclut de là que l'élément actif est analogue au tellure et lui donne le nom de radiotellure. La matière active de M. Marckwald semble identique au polonium, par sa provenance et par les rayons très absorbables qu'elle émet. Le choix d'un nom nouveau pour cette matière est certainement inutile dans l'état actuel de la question.

Préparation du Chlorure de Radium Pur.—Le procédé que j'ai adopté pour extraire le chlorure de radium pur du chlorure de baryum radifère consiste à soumettre le mélange des chlorures à une cristallisation fractionnée dans l'eau pure d'abord, dans l'eau additionnée d'acide chlorhydrique pur ensuite. On utilise ainsi la différence des solubilités des deux chlorures, celui de radium étant moins soluble que celui de baryum.

Au début du fractionnement on emploie l'eau pure distillée. On dissout le chlorure et l'on amène la dissolution à être saturée à la température de l'ébullition, puis on laisse cristalliser par refroidissement dans une capsule couverte. Il se forme alors au fond de beaux cristaux adhérents, et la dissolution saturée, surnageante, peut être facilement décantée. Si l'on évapore à sec un échantillon de cette dissolution, on trouve que le chlorure obtenu est environ cinq fois moins actif que celui qui a cristallisé. On a ainsi partagé le chlorure en deux portions: A et B, la por-

tion A étant beaucoup plus active que la portion B. On recommence sur chacun des chlorures A et B la même opération, et l'on obtient, avec chacun d'eux, deux portions nouvelles. Quand la cristallisation est terminée, on réunit ensemble la fraction la moins active du chlorure B, ces deux matières ayant sensiblement la même activité. On se trouve alors avoir trois portions que l'on soumet à nouveau au même traitement.

On ne laisse pas augmenter constamment le nombre des portions. A mesure que ce nombre augmente, l'activité de la portion la plus soluble va en diminuant. Quand cette portion n'a plus qu'une activité insignifiante, on l'élimine du fractionnement. Quand on a obtenu le nombre de portions que l'on désire, on cesse aussi de fractionner la portion la moins soluble (la plus riche en radium), et on l'élimine du fractionnement.

On opère avec un nombre constant de portions. Après chaque série d'opérations, la solution saturée provenant d'une portion est versée sur les cristaux provenant de la portion suivante; mais, si, après l'une des séries, on a éliminé la fraction la plus soluble, après la série suivante on fera, au contraire, une nouvelle portion avec la fraction la plus soluble, et l'on éliminera les cristaux qui constituent la portion la plus active. Par la succession alternative de ces deux modes opératoires on obtient un mécanisme de fractionnement très régulier, dans lequel le nombre des portions et l'activité de chacune d'elles restent constants, chaque portion étant environ cinq fois plus active que la suivante, et dans lequel on élimine d'un côté (à la tête) un chlorure enrichi en radium. La quantité de matière contenue dans les portions va, d'ailleurs, nécessairement en diminuant, et les portions diverses contiennent d'autant moins de matière qu'elles sont plus actives.

On opérerait au début avec six portions, et l'activité du chlorure éliminé à la queue n'était que 0,1 de celle de l'uranium.

Quand on a ainsi éliminé en grande partie la matière inactive et que les portions sont devenues petites, on n'a plus intérêt à éliminer à une activité aussi faible; on supprime alors une portion à la queue du fractionnement et l'on ajoute à la tête une portion formée avec le chlorure actif précédemment recueilli. On

recueillera donc maintenant un chlorure plus riche en radium que précédemment.

On continue à appliquer ce système jusqu'à ce que les cristaux de tête représentent du chlorure de radium pur.

Si le fractionnement a été fait d'une façon très complète, il reste à peine de très petites quantités de tous les produits intermédiaires.

Quand le fractionnement est avancé et que la quantité de matière est devenue faible dans chaque portion, la séparation par cristallisation est moins efficace, le refroidissement étant trop rapide et le volume de solution à décanter trop petit. On a alors intérêt à additionner l'eau d'une proportion déterminée d'acide chlorhydrique; cette proportion devra aller en croissant à mesure que le fractionnement avance.

L'avantage de cette addition consiste à augmenter la quantité de la dissolution, la solubilité des chlorures étant moindre dans l'eau chlorhydrique que dans l'eau pure. De plus, le fractionnement est alors très efficace; la différence entre les deux fractions provenant d'un même produit est considérable; en employant de l'eau avec beaucoup d'acide, on a d'excellentes séparations, et l'on peut opérer avec trois ou quatre portions seulement. On a tout avantage à employer ce procédé aussitôt que la quantité de matière est devenue assez faible pour que l'on puisse opérer ainsi sans inconvénients.

Les cristaux, qui se déposent en solution très acide, ont la forme d'aiguilles très allongées, qui ont absolument le même aspect pour le chlorure de baryum et pour le chlorure de radium. Les uns et les autres sont biréfringents.

Les cristaux de chlorure de baryum radifère se déposent incolores, mais, quand la proportion de radium devient suffisante, ils prennent au bout de quelques heures une coloration jaune, allant à l'orangé, quelquefois une belle coloration rose. Cette coloration disparaît par la dissolution.

Les cristaux de chlorure de radium pur ne se colorent pas, ou tout au moins¹ pas aussi rapidement, de sorte que la coloration paraît due à la présence simultanée du baryum et de radium. Le

¹ tout au moins = at least.

maximum de coloration est obtenu pour une certaine concentration en radium, et l'on peut, en se basant sur cette propriété, contrôler les progrès du fractionnement.

Tant que la portion la plus active se colore, elle contient une quantité notable de baryum; quand elle ne se colore plus, et que les portions suivantes se colorent, c'est que la première est sensiblement du chlorure de radium pur.

J'ai remarqué parfois la formation d'un dépôt composé de cristaux dont une partie restait incolore, alors que l'autre partie se colorait. Il semblait possible de séparer les cristaux incolores par triage, ce qui n'a pas été essayé.

A la fin du fractionnement, le rapport des activités des portions successives n'est ni le même, ni aussi régulier qu'au début; toutefois, il ne produit aucun trouble sérieux dans la marche du fractionnement.

La précipitation fractionnée d'une solution aqueuse de chlorure de baryum radifère par l'alcool conduit aussi à l'isolement du chlorure de radium qui se précipite en premier. Cette méthode que j'employais au début a été ensuite abandonnée pour celle qui vient d'être exposée et qui offre plus de régularité.

Cependant, j'ai encore quelquefois employé la précipitation par l'alcool pour purifier le chlorure de radium qui contient une petite quantité de chlorure de baryum. Ce dernier reste dans la dissolution alcoolique légèrement aqueuse et peut ainsi être enlevé.

M. Giesel, qui, dès la publication de nos premières recherches, s'est occupé de la préparation des corps radioactifs, recommande la séparation du baryum et du radium par la cristallisation fractionnée dans l'eau du mélange des bromures. J'ai pu constater que ce procédé est en effet très avantageux, surtout au début du fractionnement.

Quel que soit le procédé de fractionnement dont on se sert, il est utile de le contrôler par des mesures d'activité.

Il est nécessaire de remarquer qu'un composé de radium qui était dissous, et que l'on vient de ramener à l'état solide, soit par précipitation, soit par cristallisation, possède au début une activité d'autant moins grande qu'il est resté plus longtemps en dissolution. L'activité augmente ensuite pendant plusieurs mois

pour atteindre une certaine limite, toujours la même. L'activité finale est cinq ou six fois plus élevée que l'activité initiale. Ces variations, sur lesquelles je reviendrai plus loin, doivent être prises en considération pour la mesure de l'activité. Bien que l'activité finale soit mieux définie, il est plus pratique, au cours d'un traitement chimique, de mesurer l'activité initiale du produit solide.

L'activité des substances fortement radioactives est d'un tout autre ordre de grandeur que celle du minerai dont elles proviennent (elle est 16^e fois plus grande). Quand on mesure cette radioactivité par la méthode qui a été exposée au début de ce travail, on ne peut pas augmenter, au delà d'une certaine limite, la charge que l'on met dans le plateau du quartz. Cette charge, dans nos expériences, était de 4000 g. au maximum, correspondant à une quantité d'électricité dégagée égale à 25 unités électrostatiques. Nous pouvons mesurer des activités qui varient, dans le rapport de 1 à 4000, en employant toujours la même surface pour la substance active. Pour étendre les limites des mesures, nous faisons varier cette surface dans un rapport connu. La substance active occupe alors sur le plateau B une zone circulaire centrale de rayon connu. L'activité n'étant pas, dans ces conditions, exactement proportionnelle à la surface, on détermine expérimentalement des coefficients qui permettent de comparer les activités à surface active inégale.

Quand cette ressource elle-même est épuisée, on est obligé d'avoir recours à l'emploi d'écrans absorbants et à d'autres procédés équivalents sur lesquels je n'insisterai pas ici.

Tous ces procédés, plus ou moins imparfaits, suffisent cependant pour guider les recherches.

Nous avons aussi mesuré le courant qui traverse le condensateur quand il est mis en circuit avec une batterie de petits accumulateurs et un galvanomètre sensible. La nécessité de vérifier fréquemment la sensibilité du galvanomètre nous a empêchés d'employer cette méthode pour les mesures courantes.

Détermination du Poids Atomique du Radium.—Au cours de mon travail, j'ai, à plusieurs reprises, déterminé le poids atomique du métal contenu dans des échantillons de chlorure de baryum

radifère. Chaque fois qu'à la suite d'un nouveau traitement j'avais une nouvelle provision de chlorure de baryum radifère à traiter, je poussais la concentration aussi loin que possible, de façon à obtenir de 0,1 gr. à 0,5 gr. de matière contenant presque toute l'activité du mélange. De cette petite quantité de matière je précipitais par l'alcool ou l'acide chlorhydrique quelques milligrammes de chlorure qui étaient destinés à l'analyse spectrale.

Grâce à son excellente méthode, Demarçay n'avait besoin que de cette quantité minime de matière pour obtenir la photographie du spectre de l'étincelle. Sur le produit qui me restait je faisais une détermination de poids atomique.

J'ai employé la méthode classique qui consiste à doser, à l'état de chlorure d'argent, le chlore contenu dans un poids connu de chlorure anhydre. Comme expérience de contrôle, j'ai déterminé le poids atomique du baryum par la même méthode, dans les mêmes conditions et avec la même quantité de matière, 0,5 gr. d'abord, 0,1 gr. seulement ensuite. Les nombres trouvés étaient toujours compris entre 137 et 138. J'ai vu ainsi que cette méthode donne des résultats satisfaisants, même avec une aussi faible quantité de matière.

Les deux premières déterminations ont été faites avec des chlorures, dont l'un était 230 fois et l'autre 600 fois plus actif que l'uranium. Ces deux expériences ont donné à la précision des mesures près, le même nombre que l'expérience faite avec le chlorure de baryum pur. On ne pouvait donc espérer de trouver une différence qu'en employant un produit beaucoup plus actif. L'expérience suivante a été faite avec un chlorure dont l'activité était environ 3500 fois plus grande que celle de l'uranium; cette expérience permit, pour la première fois, d'apercevoir une différence petite, mais certaine; je trouvais, pour le poids atomique moyen du métal contenu dans ce chlorure, le nombre 140, qui indiquait que le poids atomique du radium devait être plus élevé que celui du baryum. En employant des produits de plus en plus actifs et présentant le spectre du radium avec une intensité croissante, je constatais que les nombres obtenus allaient aussi en croissant, comme on peut le voir dans le tableau suivant (A indique l'activité du chlorure, celle de l'uranium étant prise comme unité; M le poids atomique trouvé):

A	M	
3500	140	le spectre du radium est très faible
4700	141	
7500	145,8	le spectre du radium est fort, mais celui du baryum domine de beaucoup ¹
Ordre de grandeur	173,8	les deux spectres ont une importance à peu près égale
10 ⁴	225	le baryum n'est présent qu'à l'état de trace.

Les nombres de la colonne A ne doivent être considérés que comme une indication grossière. L'appréciation de l'activité des corps fortement radioactifs est, en effet, difficile, pour diverses raisons dont il sera question plus loin.

A la suite des traitements décrits plus haut j'ai obtenu, en mars 1902, 0,12 gr. d'un chlorure de radium, dont Demarçay a bien voulu faire l'analyse spectrale. Ce chlorure de radium, d'après l'opinion de Demarçay, était sensiblement pur; cependant son spectre présentait encore les trois raies principales du baryum avec une intensité notable.

J'ai fait avec ce chlorure quatre déterminations successives dont voici les résultats:

	Chlorure de radium anhydre	Chlorure d'argent	M
I	0,1150	0,1130	220,7
II	0,1148	0,1119	223,0
III	0,11135	0,1086	222,8
IV	0,10925	0,10645	223,1

J'ai entrepris alors une nouvelle purification de ce chlorure, et je suis arrivée à obtenir une matière beaucoup plus pure encore, dans le spectre de laquelle les deux raies les plus fortes du baryum sont très faibles. Étant donnée la sensibilité de la réaction spectrale du baryum, Demarçay estime que ce chlorure purifié ne contient que "des traces minimes de baryum incapables d'influencer d'une façon appréciable le poids atomique." J'ai fait trois déterminations avec ce chlorure de radium parfaitement pur. Voici les résultats:

	Chlorure de radium anhydre	Chlorure d'argent	M
I	0,09192	0,08890	225,3
II	0,08936	0,08627	225,8
III	0,08839	0,08589	224,0

Ces nombres donnent une moyenne de 225. Ils ont été calculés, de même que les précédents, en considérant le radium comme un élément bivalent, dont le chlorure a la formule RaCl_2 , et en

¹ de beaucoup = by far.

adoptant pour l'argent et le chlore les nombres $\text{Ag} = 107,8$; $\text{Cl} = 35,4$.

Il résulte de ces expériences que le poids atomique du radium est $\text{Ra} = 225$. Je considère ce nombre comme exact à une unité près.¹

Les pesées étaient faites avec une balance aperiodique Curie, parfaitement réglée, précise au vingtième de milligramme. Cette balance, à lecture directe, permet de faire des pesées très rapides, ce qui est une condition essentielle pour la pesée des chlorures anhydres de radium et de barium, qui absorbent lentement de l'eau, malgré la présence de corps desséchants dans la balance. Les matières à peser étaient placées dans un creuset de platine; ce creuset était en usage depuis longtemps, et j'ai vérifié que son poids ne variait pas d'un dixième de milligramme au cours d'une opération.

Le chlorure hydraté obtenu par cristallisation était introduit dans le creuset et chauffé à l'étuve pour être transformé en chlorure anhydre. L'expérience montre que, lorsque le chlorure a été maintenu quelques heures à 100° , son poids ne varie plus, même lorsqu'on fait monter la température à 200° et qu'on l'y maintient pendant quelques heures. Le chlorure anhydre ainsi obtenu constitue donc un corps parfaitement défini.

Voici une série de mesures relatives à ce sujet: le chlorure (1 dg.) est séché à l'étuve à 55° et placé dans un exsiccateur sur de l'acide phosphorique anhydre; il perd alors du poids très lentement, ce qui prouve qu'il contient encore de l'eau; pendant 12 heures, la perte a été de 3 mg.

On reporte le chlorure dans l'étuve et on laisse la température monter à 100° . Pendant cette opération, le chlorure perd 6,3 mg. Laisse dans l'étuve pendant 3 heures 15 minutes, il perd encore 2,5 mg. On maintient la température pendant 45 minutes entre 100° et 120° , ce qui entraîne une perte de poids de 0,1 mg. Laisse ensuite 30 minutes à 150° , il perd 0,1 mg. Enfin chauffé pendant 4 heures à 200° , il éprouve une perte de poids de 0,15 mg. Pendant toutes ces opérations, le creuset a varié de 0,05 mg.

Après chaque détermination de poids atomique, le radium était ramené à l'état de chlorure de la manière suivante: la liqueur

¹ à une unité près = to within one unit.

contenant après le dosage l'azotate de radium et l'azotate d'argent en excès était additionnée d'acide chlorhydrique pur ; on séparait le chlorure d'argent par filtration ; la liqueur était évaporée à sec plusieurs fois avec un excès d'acide chlorhydrique pur. L'expérience montre qu'on peut ainsi éliminer l'acide azotique complètement.

Le chlorure d'argent du dosage était toujours radioactif et lumineux. Je me suis assurée qu'il n'avait pas entraîné de quantité pondérable de radium, en déterminant la quantité d'argent qui y était contenue. A cet effet, le chlorure d'argent fondu contenu dans le creuset était réduit par l'hydrogène résultant de la décomposition de l'acide chlorhydrique étendu par le zinc ; après lavage, le creuset était pesé avec l'argent métallique qui y était contenu.

J'ai constaté également, dans une expérience, que le poids du chlorure de radium régénéré était retrouvé le même qu'avant l'opération. Dans d'autres expériences, je n'attendais pas, pour commencer une nouvelle opération, que toutes les eaux de lavage fussent évaporées.

Ces vérifications ne comportent pas la même précision que les expériences directes ; elles ont permis toutefois de s'assurer qu'aucune erreur notable n'a été commise.

D'après ses propriétés chimiques, le radium est un élément de la série alcalino-terreux. Il est dans cette série l'homologue supérieur du baryum.

D'après son poids atomique, le radium vient se placer également, dans le Tableau de Mendeleeff, à la suite du baryum dans la colonne des métaux alcalino-terreux et sur la rangée qui contient déjà l'uranium et le thorium.

Caractères des Sels de Radium.—Les sels de radium : chlorure, azotate, carbonate, sulfate, ont le même aspect que ceux de baryum, quand ils viennent d'être préparés à l'état solide, mais tous les sels de radium se colorent avec le temps.

Les sels de radium sont tous lumineux dans l'obscurité.

Par leurs propriétés chimiques, les sels de radium sont absolument analogues aux sels correspondants de baryum. Cependant le chlorure de radium est moins soluble que celui de baryum ; la solubilité des azotates dans l'eau semble être sensiblement la même.

Les sels de radium sont le siège d'un dégagement de chaleur spontané et continu.

Le chlorure de radium pur est paramagnétique. Son coefficient d'aimantation spécifique K a été mesuré par MM. P. Curie et C. Chéneveau au moyen d'un appareil établi par ces deux physiciens. Ce coefficient a été mesuré par comparaison avec celui de l'eau et corrigé de l'action du magnétisme de l'air.

On a trouvé ainsi

$$K = 1,05.10^{-6},$$

en admettant que l'on a pour l'eau $K = -0,79.10^{-6}$.

Le chlorure de baryum pur est diamagnétique et son coefficient d'aimantation spécifique est

$$K = -0,40.10^{-6}.$$

On trouve d'ailleurs, conformément aux résultats précédents, qu'un chlorure de baryum radifère, contenant environ 17 pour 100 de chlorure de radium et 83 pour 100 de chlorure de baryum, est diamagnétique et possède un coefficient d'aimantation spécifique $K = -0,20.10^{-6}$.

Fractionnement du Chlorure de Baryum Ordinaire.—Nous avons cherché à nous assurer si le chlorure de baryum du commerce ne contenait pas de petites quantités de chlorure de radium inappréciables à notre appareil de mesures. Pour cela, nous avons entrepris le fractionnement d'une grande quantité de chlorure de baryum du commerce, espérant concentrer par ce procédé la trace de chlorure de radium si elle s'y trouvait.

50 kg. de chlorure de baryum du commerce ont été dissous dans l'eau; la dissolution a été précipitée par de l'acide chlorhydrique exempt d'acide sulfurique, ce qui a fourni 20 kg. de chlorure précipité. Celui-ci a été dissous dans l'eau et précipité partiellement par l'acide chlorhydrique, ce qui a donné 8,5 kg. de chlorure précipité. Ce chlorure a été soumis à la méthode de fractionnement employée pour le chlorure de baryum radifère, et l'on a éliminé à la tête du fractionnement 10 gr. de chlorure correspondant à la portion la moins soluble. Ce chlorure ne montrait aucune radioactivité dans notre appareil de mesures; il ne contenait donc pas de radium; ce corps est, par suite, absent des minerais qui fournissent le baryum.

TABLE OF IRREGULAR VERBS.

n, abbreviation for nous, we; v, abbreviation for vous, you.

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
abstenir = to abstain	abstenant	abstenu	j'abtiens il abstient	j'absténais	j'abstins	j'abstiendrai	j'abstienne il abstienne ils abstiennent
abstraire = to abstract	abstrayant	abstrait	j'abstrais il abstrait	j'abstrayais		j'abstrairai	j'abstraie il abstraie ils abstraient
acquérir = to acquire	acquérant	acquis	j'acquiers il acquiert	j'acquértais	j'acquis	j'acquerrai	j'acquière il acquière ils acquièrent
admettre = to admit	admettant	admis	j'admets il admet	j'admettais	j'admis	j'admettrai	j'admette il admette ils admettent
aller = to go	allant	allé	je vais il va	j'allais	j'allai	j'irai	j'aille il aille ils aillent
apercevoir = to perceive	apercevant	aperçu	j'aperçois il aperçoit	j'apercevais	j'aperçus	j'apercevrai	j'aperçoive il aperçoive ils aperçoivent
apparaître = to appear	apparaissant	apparu	j'apparais il apparaît	j'apparaissais	j'apparus	j'apparaîtrai	j'apparaisse il apparaisse ils apparaissent
apprendre = to learn	apprenant	appris	j'apprends il apprend	j'apprenais	j'appris	j'apprendrai	j'apprenne il apprenne ils apprennent
atteindre = to attain	atteignant	atteint	j'atteins il atteint	j'atteignais	j'atteignis	j'atteindrai	j'atteigne il atteigne ils atteignent
avoir = to have	ayant	eu	j'ai il a	j'avais	j'eus	j'aurai	j'aie il ait ils aient

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued.)

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
boire = to drink	buvant	bu	je bois il boit ils boivent	je buvais il bouillait	je bus	je boirai	je boive il boive ils boivent
bouillir = to boil	bouillant	bouilli	il bout ils bouillent			il bouillira	il bouille ils bouillent
commettre = to commit	commettant	commis	je commets il commet ils commettent	je commettais	je commis	je commettrai	je commette il commette ils commettent
comprendre = to understand	comprenant	compris	je comprends il comprend ils comprennent	je comprenais	je compris	je comprendrai	je comprenne il comprenne ils comprennent
concevoir = to conceive	concevant	conçu	je conçois il conçoit ils conçoivent	je concevais	je conçus	je concevrai	je conçoive il conçoive ils conçoivent
conclure = to conclude	concluant	conclu	je conclus il conclut ils concluent	je conclusais	je conclus	je conclurai	je conclue il conclue ils concluent
conduire = to conduct	conduisant	conduit	je conduis il conduit ils conduisent	je conduisais	je conduisis	je conduirai	je conduise il conduise ils conduisent
connaître = to know	connaissant	connu	je connais il connaît ils connaissent	je connaissais	je connus	je connaîtrai	je connaisse il connaisse ils connaissent
construire = to construct	construisant	construit	je construis il construit ils construisent	je construisais	je construisis	je construirai	je construisse il construisse ils construisent
contenir = to contain	contenant	contenu	je tiens il tient ils tiennent	je tenais	je tins	je tiendrai	je tienne il tienne ils tiennent

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued.)

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
contraindre = to constrain	contrainquant	contraint	je contrains il contrainst ils contraignent	je contraignais il contraignait ils contraignaient	je contraignis il contraignit ils contraignirent	je contraindrai il contraindra ils contraindront	je contraigne il contraigne ils contraignent
convaincre = to convince	convainquant	convaincu	je convaincs il convainc ils convainquent	je convainçais il convainc ils convainquaient	je convaincis il convaincit ils convainquirent	je convaincras il convaincra ils convaincront	je convainche il convainche ils convainchent
convenir = to suit to agree	convenant	convenu	je conviens il convient ils conviennent	je convenais il convenait ils convenaient	je convins il convint ils convinrent	je conviendrai il conviendra ils conviendront	je convienne il convienne ils conviennent
courir = to run	courant	couru	je cours il court ils courent	je courais il courait ils couraient	je courus il courut ils coururent	je courrai il courra ils courront	je cours il cours ils courent
couvrir = to cover	couvant	couvert	je couvre il couvre ils couvrent	je couvrais il couvrait ils couvraient	je couvris il couvrit ils couvrirent	je couvrirai il couvrira ils couvriront	je couvre il couvre ils couvrent
craindre = to fear	craignant	craint	je crains il craint ils craignent	je craignais il craignait ils craignaient	je craignis il craignit ils craignirent	je craindrai il craindra ils craindront	je craigne il craigne ils craignent
croire = to believe	croyant	cru	je crois il croit ils croient	je croyais il croyait ils croyaient	je crus il crut ils crurent	je croirai il croira ils croiront	je croie il croie ils croient
croître = to grow	croissant	crû	je crois il croît ils croissent	je croissais il croissait ils croissaient	je crus il crût ils crurent	je croîtrai il croîtra ils croîtront	je croisse il croisse ils croissent
découvrir = to discover	découvrant	découvert	je découvre il découvre ils découvrent	je découvrais il découvrait ils découvraient	je découvris il découvrit ils découvrirent	je découvrirai il découvrir ils découvriront	je découvre il découvre ils découvrent
décroître = to decrease	décroissant	décroît	je décrois il décroît ils décroissent	je décroissais il décroissait ils décroissaient	je décrois il décroût ils décrourent	je décroîtrai il décroîtra ils décroîtront	je décroisse il décroisse ils décroissent

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued).

Infinitive	Present Participle	Post Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
déduire = to deduct	déduisant	déduit	je déduis il déduit n. déduisons v. déduisez ils déduisent	je déduisais	je déduisis	je déduirai	je déduise il déduise n. déduisions v. déduisez ils déduisent
détruire = to destroy	détruisant	détruit	je détruis il détruit n. détruisons v. détruisez ils détruisent	je détruisais	je détruisais	je détruirai	je détruise il détruise n. détruisions v. détruisez ils détruisent
devenir = to become	devenant	devenu	je deviens il devient n. devenons v. devenez ils deviennent	je devenais	je devins	je deviendrai	je devienne il devienne n. devenions v. devenez ils deviennent
devoir = to owe must, etc.	devant	du	je dois il doit n. devons v. devez ils doivent	je devais	je dus	je devrai	je doive il doive n. devons v. devez ils doivent
dire = to say to tell	disant	dit	je dis il dit n. disons v. dites ils disent	je disais	je dis	je dirai	je dise il dise n. disions v. dites ils disent
disparaître = to disappear	disparaissant	disparu	je disparaissais il disparaît n. disparaissions v. disparaîsez ils disparaissent	je disparaissais	je disparus	je disparaîtrai	je disparaisse il disparaisse n. disparaissions v. disparaîsez ils disparaissent
dissoudre = to dissolve	dissolvant	dissous	je dissous il dissout n. dissolvons v. dissolvez ils dissolvent	je dissolvais		je dissoudrai	je dissolve il dissolve n. dissolvions v. dissolvez ils dissolvent
écrire = to write	écrivant	écrit	j'écris il écrit n. écrivons v. écrivez ils écrivent	j'écrivais	j'écrivis	j'écrirai	j'écrive il écrive n. écrivions v. écrivez ils écrivent
émettre = to emit	émettant	émis	j'émet il émet n. émettons v. émettez ils émettent	j'émettais	j'émis	j'émettrai	j'émette il émette n. émettions v. émettez ils émettent
entreprendre = to undertake	entreprenant	entrepris	j'entreprends il entreprend n. entreprenons v. entreprenez ils entreprennent	j'entreprenais	j'entrepris	j'entreprendrai	j'entreprenne il entreprenne n. entreprenions v. entreprenez ils entreprennent

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued).

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
entretenir = to entertain to keep up	entretenant	entretenu	j'entretiens il entretient n. entretenons v. entretenez ils entretiennent	j'entretenais j'envoyais j'étais j'excluais j'extrayais je faisais il fallait	j'entretenais j'envoyai je fus j'exclus j'extrayais je fis il fallut	j'entretiendrai j'enverrai je serai j'exclurai j'extrairai je ferai il faudra	j'entretienne n. entretenions il entretienne v. entreteniez ils entretiennent j'envoie il envoient je sois il soit n. soyons v. soyez ils soient j'exclue il excluent j'extraie il extraient je fasse il fassent n. fassions v. fassiez ils fassent
envoyer = to send	envoyant	envoyé	j'envoie il envoie n. envoyons v. envoyez ils envoient	j'envoyais j'étais j'excluais j'extrayais je faisais il fallait	j'envoyai je fus j'exclus j'extrayais je fis il fallut	j'enverrai je serai j'exclurai j'extrairai je ferai il faudra	j'envoie il envoient je sois il soit n. soyons v. soyez ils soient j'exclue il excluent j'extraie il extraient je fasse il fassent n. fassions v. fassiez ils fassent
être = to be	étant	été	je suis il est n. sommes v. êtes ils sont	j'étais j'excluais j'extrayais je faisais il fallait	je fus j'exclus j'extrayais je fis il fallut	je serai j'exclurai j'extrairai je ferai il faudra	je sois il soit n. soyons v. soyez ils soient j'exclue il excluent j'extraie il extraient je fasse il fassent n. fassions v. fassiez ils fassent
exclure = to exclude	excluant	exclu	j'exclus il exclut n. excluons v. excluez ils excluent	j'excluais j'extrayais je faisais il fallait	j'exclus j'extrayais je fis il fallut	j'exclurai j'extrairai je ferai il faudra	j'exclue il excluent j'extraie il extraient je fasse il fassent n. fassions v. fassiez ils fassent
extraire = to extract	extrayant	extraît	j'extrais il extrait n. extrayons v. extrayez ils extraient	j'extrayais je faisais il fallait	j'extrayais je fis il fallut	j'extrairai je ferai il faudra	j'extraie il extraient je fasse il fassent n. fassions v. fassiez ils fassent
faire = to do, to make	faisant	fait	je fais il fait n. faisons v. faites ils font	je faisais il fallait	je fis il fallut	je ferai il faudra	je fasse il fassent n. fassions v. fassiez ils fassent
falloir = to be necessary	fallant	fallu	il faut	il fallait	il fallut	il faudra	il fasse il fassent n. fassions v. fassiez ils fassent
intervenir = to intervene	intervenant	intervenu	j'interviens il intervient n. intervenons v. intervenez ils interviennent	j'intervenais j'introduisais je joignais	j'intervins j'introduisis je joignis	j'interviendrai j'introduirai je joindrai	j'intervienne n. intervenions il intervienne v. interveniez ils interviennent j'introduise n. introduisions il introduise v. introduisiez ils introduisent je joigne il joignent n. joignons v. joignez ils joignent
introduire = to introduce	introduisant	introduit	j'introduis il introduit n. introduisons v. introduisez ils introduisent	j'introduisais je joignais	j'introduisis je joignis	j'introduirai je joindrai	j'introduise n. introduisions il introduise v. introduisiez ils introduisent je joigne il joignent n. joignons v. joignez ils joignent
joindre = to join	joignant	joint	je joins il joint n. joignons v. joignez ils joignent	je joignais	je joignis	je joindrai	je joigne il joignent n. joignons v. joignez ils joignent

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued).

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
lire = to read	lisant	lu	je lis il lit	je lisais	je lus	je lirai	je lise il lise n. lissons v. lisez ils lisent
maintenir = to maintain	maintenant	maintenu	je maintiens il maintient	je maintenais	je maintins je maintins	je maintiendrai	je maintienne il maintienne n. maintenons v. maintenez ils maintiennent
mettre = to put	mettant	mis	je mets il met	je mettais	je mis	je mettrai	je mette il mette n. mettons v. mettez ils mettent
mouvoir = to move	mouvant	mû	je meus il meut	je mouvais	je mus	je mouvrai	je meuve il meuve n. mouvons v. mouvez ils meuvent
obtenir = to obtain	obtenant	obtenu	j'obtiens il obtient	j'obtenais	j'obtins	j'obtiendrai	j'obtienne il obtienne n. obtenons v. obtenez ils obtiennent
offrir = to offer	offrant	offert	j'offre il offre	j'offrais	j'offris	j'offrirai	j'offre il offre n. offrons v. offrez ils offrent
omettre = to omit	omettant	omis	j'omet il omet	j'omettais	j'omis	j'omettrai	j'omette il omette n. omettons v. omettez ils omettent
ouvrir = to open	ouvrant	ouvert	j'ouvre il ouvre	j'ouvrais	j'ouvris	j'ouvrirai	j'ouvre il ouvre n. ouvrons v. ouvrez ils ouvrent
paraître = to appear	paraissant	paru	je paraîs il paraît	je paraissais	je parus	je paraîtrai	je paraîsse il paraîsse n. paraissions v. paraissent ils paraissent
partir = to set out	partant	parti	je pars il part	je partais	je partis	je partirai	je parte il parte n. partons v. partez ils partent

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued).

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
parvenir = to succeed to attain	parvenant	parvenu	je parviens il parvient n. parvenons v. parvenez ils parviennent	je parvenais	je parvins	je parviendrai	je parvienne il parvienne n. parvenions v. parvenez ils parviennent
permettre = to permit	permettant	permis	je permets il permet n. permettons v. permettez ils permettent	je permettais	je permis	je permettrai	je permette il permette n. permettions v. permettez ils permettent
pouvoir = to be able	pouvant	pu	je peux il peut n. pouvons v. pouvez ils peuvent	je pouvais	je pus	je pourrai	je puisse il puisse n. puissions v. puissiez ils puissent
prendre = to take	prenant	pris	je prends il prend n. prenons v. prenez ils prennent	je prenais	je pris	je prendrai	je prenne il prenne n. prenions v. prenez ils prennent
produire = to produce	produisant	produit	je produis il produit n. produisons v. produisez ils produisent	je produisais	je produisais	je produirai	je produise il produise n. produisions v. produisez ils produisent
provenir = to proceed from	provenant	provenu	je proviens il provient n. provenons v. provenez ils proviennent	je provenais	je provins	je proviendrai	je provienne il provienne n. provenions v. provenez ils proviennent
recevoir = to receive	recevant	reçu	je reçois il reçoit n. recevons v. recevez ils reçoivent	je recevais	je reçus	je recevrai	je reçoive il reçoive n. recevions v. recevez ils reçoivent
reconnaître = to recognize	reconnaissant	reconnu	je reconnais il reconnaît n. reconnaissons v. reconnaissez ils reconnaissent	je reconnaissais	je reconnus	je reconnaitrai	je reconnaisse il reconnaisse n. reconnaissons v. reconnaissez ils reconnaissent
recueillir = to collect	recueillant	recueilli	je recueille il recueille n. recueillons v. recueillez ils recueillent	je recueillais	je recueillis	je recueillerai	je recueille il recueille n. recueillions v. recueillez ils recueillent
réduire = to reduce	réduisant	réduit	je réduis il réduit n. réduisons v. réduisez ils réduisent	je réduisais	je réduisais	je réduirai	je réduise il réduise n. réduisions v. réduisez ils réduisent

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued).

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
résoudre = to resolve	résolvant	résolu	je résous il résout n. résolvons v. résolvez ils résolvent	je résolvais	je résolus	je résoudrai	je résolve il résolve n. résolvisions v. résolvez ils résolvent
restreindre = to restrain	restreignant	restreint	je restreins il restreint n. restreignons v. restreignez ils restreignent	je restreignais	je restreignais	je restreindrai	je restreigne il restreigne n. restreignons v. restreignez ils restreignent
retenir = to retain, to remember	retenant	retenu	je retiens il retient n. retenons v. retenez ils retiennent	je retenais	je retins	je retiendrai	je retienne il retienne n. retenions v. retenez ils retiennent
revenir = to come back	revenant	revenu	je reviens il revient n. revenons v. revenez ils reviennent	je revenais	je revins	je reviendrai	je revienne il revienne n. revenions v. revenez ils reviennent
satisfaire = to satisfy	satisfaisant	satisfait	je satisfais il satisfait n. satisfaisons v. satisfaites ils satisfont	je satisfaisais	je satisfais	je satisfierai	je satisfasse il satisfasse n. satisfassions v. satisfassiez ils satisfassent
savoir = to know	sachant	sû	je sais il sait n. savons v. sachez ils savent	je savais	je sus	je saurai	je sache il sache n. sachions v. sachiez ils sachent
sentir = to smell, to feel	sentant	senti	je sens il sent n. sentons v. sentez ils sentent	je sentais	je sentis	je sentirai	je sente il sente n. sentions v. sentiez ils sentent
servir = to serve to be used as	servant	servi	je sers il sert n. servons v. servez ils servent	je servais	je servis	je servirai	je serve il serve n. servions v. servez ils servent
sortir = to go out	sortant	sorti	je sors il sort n. sortons v. sortez ils sortent	je sortais	je sortis	je sortirai	je sorte il sorte n. sortions v. sortiez ils sortent
soumettre = to submit	soumettant	soumis	je soumet il soumet n. soumettons v. soumettez ils soumettent	je soumettais	je soumis	je soumettrai	je soumette il soumette n. soumettions v. soumettiez ils soumettent

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued).

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Preterit	Future	Subjunctive Present
soustraire = to subtract	soustrayant	soustrait	je soustrais il soustrait n. soustrayons v. soustrayez ils soustraient	je soustrayais		je soustrairai	je soustraie il soustraie n. soustrayions v. soustrayez ils soustraient
soutenir = to sustain	soutenant	soutenu	je soutiens il soutient n. soutenons v. soutenez ils soutiennent	je soutenais	je soutins	je soutiendrai	je soutienne il soutienne n. soutenions v. soutenez ils soutiennent
souvenir = to remember	souvenant	souvenu	je souviens il souvient n. souvenons v. souvenez ils souviennent	je souvenais	je souvins	je souviendrai	je souvienne il souvienne n. souvenions v. souvenez ils souviennent
suffire = to suffice	suffisant	suffi	je suffis il suffit n. suffisons v. suffisez ils suffisent	je suffisais	je suffis	je suffirai	je suffise il suffise n. suffisions v. suffisez ils suffisent
suivre = to follow	suivant	suivi	je suis il suit n. suivons v. suivez ils suivent	je suivais	je suivis	je suivrai	je suive il suive n. suivions v. suivez ils suivent
taire = to keep silent	taisant	tu	je tais il tait n. taisons v. taisez ils taisent	je taisais	je tus	je tairai	je taise il taise n. taisions v. taisez ils taisent
teindre = to dye	teignant	teint	je teins il teint n. teignons v. teignez ils teignent	je teignais	je teignis	je teindrai	je teigne il teigne n. teignons v. teignez ils teignent
tenir = to hold	tenant	tenu	je tiens il tient n. tenons v. tenez ils tiennent	je tenais	je tins	je tiendrai	je tienne il tienne n. tenions v. tenez ils tiennent
traduire = to translate	traduisant	traduit	je traduis il traduit n. traduisons v. traduisez ils traduisent	je traduais	je traduisis	je traduirai	je traduise il traduise n. traduisions v. traduisez ils traduisent
transmettre = to transmit	transmettant	transmis	je transmets il transmet n. transmettons v. transmettez ils transmettent	je transmettais	je transmis	je transmettrai	je transmette il transmette n. transmettions v. transmettez ils transmettent

TABLE OF IRREGULAR VERBS—(Continued).

Infinitive	Present Participle	Past Participle	Present	Imperfect	Præterit	Future	Subjunctive Present
valoir = to be worth	valant	valu	je vauz il vaut n. valons v. vales ils valent	je valais	je valus	je vaudrai	je vaille il vaille n. valions v. vales ils valissent
vendre = to sell	vendant	vendu	je vendz il vend n. vendons v. vendes ils vendent	je vendais	je vendis	je vendrai	je vende il vende n. vendions v. vendes ils vendissent
venir = to come	venant	venu	je viens il vient n. venons v. venes ils viennent	je venais	je vins	je viendrai	je vienne il vienne n. venions v. venes ils viennent
vivre = to live	vivant	vécu	je vis il vit n. vivons v. vivez ils vivent	je vivais	je vécus	je vivrai	je vive il vive n. vivions v. vivez ils vivent
voir = to see	voyant	vu	je vois il voit n. voyons v. voyez ils voient	je voyais	je vis	je verrai	je voie il voie n. voyions v. voyez ils voient
vouloir = to want	voulant	voulu	je veux il veut n. voulons v. voulez ils veulent	je voulais	je voulus	je voudrai	je veuille il veuille n. voulions v. voulez ils veussent

Vocabulary.

ABBREVIATIONS USED IN THE VOCABULARY.

<i>a.</i> , active	<i>pl.</i> , plural
<i>adj.</i> , adjective	<i>poss.</i> , possessive
<i>adv.</i> , adverb	<i>prep.</i> , preposition
<i>art.</i> , article	<i>pron.</i> , pronoun
<i>conj.</i> , conjunction	<i>r.</i> , reflected
<i>f.</i> , feminine	<i>sing.</i> , singular
<i>imp.</i> , impersonal	<i>v.</i> , verb
<i>m.</i> , masculine	<i>v. a.</i> , verb active or transitive
<i>n.</i> , noun-substantive	<i>v. imp.</i> , verb impersonal
<i>part.</i> , participle	<i>v. n.</i> , verb neuter or intransitive
<i>pers.</i> , personal	<i>v. r.</i> , verb reflexive

A

<i>à</i> , <i>prep.</i> , to, at	<i>aborder</i> , <i>v. a.</i> , to come near, to board
<i>a</i> , <i>v.</i> , has	<i>abouté</i> , <i>-e</i> , <i>adj.</i> , placed end to end
<i>abaissement</i> , <i>n. m.</i> , lowering	<i>aboutir</i> , <i>v. a.</i> , to join end to end
<i>abaisser</i> , <i>v. a.</i> , to lower, to reduce	<i>aboutir</i> , <i>v. a.</i> , to join, to end in
<i>s'abaisser</i> , <i>v. r.</i> , to stoop	<i>aboutissant</i> , <i>-e</i> , <i>adj.</i> , bordering upon
<i>à l'abandon</i> , <i>adv.</i> , at random	<i>abréger</i> , <i>v. a.</i> , to abbreviate, to shorten
<i>abandonner</i> , <i>v. a.</i> , to abandon, to give up	<i>abri</i> , <i>n. m.</i> , shelter, cover
<i>s'abandonner à</i> , <i>v. r.</i> , to give way to	<i>abriter</i> , <i>v. a.</i> , to shelter, to shield
<i>abattre</i> , <i>v. a.</i> , to pull down, to cut down	<i>abscisse</i> , <i>n. f.</i> , abscissa
<i>abducteur</i> , <i>adj.</i> , abductor (tube abducteur, exit tube)	<i>absent</i> , <i>-e</i> , <i>adj.</i> , absent, missing
<i>abimer</i> , <i>v. a.</i> , to spoil, to injure	<i>absolument</i> , <i>adv.</i> , absolutely
<i>ablution</i> , <i>n. f.</i> , ablution, washing	<i>absorber</i> , <i>v. a.</i> , to absorb, to take up
<i>abolir</i> , <i>v. a.</i> , to abolish, to repeal	<i>s'abstenir</i> , <i>v. r.</i> , to abstain, to refrain
<i>abondance</i> , <i>n. f.</i> , abundance, plenty	<i>abstraire</i> , <i>v. a.</i> , to abstract, to separate
<i>abondant</i> , <i>-e</i> , <i>adj.</i> , plentiful	<i>abus</i> , <i>n. m.</i> , abuse, misuse
<i>abonné</i> , <i>-e</i> , <i>part.</i> , subscriber	<i>abuser</i> , <i>v. a.</i> , to abuse, to misuse
<i>abonner</i> , <i>v. a.</i> , to subscribe	<i>accablant</i> , <i>-e</i> , <i>adj.</i> , oppressive, overwhelming
<i>s'abonner à</i> , <i>v. r.</i> , to subscribe	<i>accabler</i> , <i>v. a.</i> , to crush, to overwhelm
<i>abord</i> , <i>n. m.</i> , landing, access, approach	<i>accaparer</i> , <i>v. a.</i> , to monopolize
<i>d'abord</i> , <i>adv.</i> , at first	<i>accéder</i> , <i>v. n.</i> , to accede, to agree to
	<i>accélérateur</i> , <i>-rice</i> , <i>adj.</i> , accelerative
	<i>accélérer</i> , <i>v. a.</i> , to accelerate, to hasten
	<i>accentuer</i> , <i>v. a.</i> , to accentuate

- accepter, v. a.**, to accept, to receive
accès, n. m., access, admittance, attack
accessoire, adj., accessory, additional
 (produit accessoire, by-product)
accident, n. m., accident (par accident, accidentally)
acclamer, v. a., to acclaim, to applaud
accommoder, v. a., to adapt, to accommodate, to fit
s'accommoder, v. r., to put up with
accompagner, v. a., to accompany, to follow
accompli, -e, adj., accomplished, complete
accomplir, v. a., to accomplish, to effect, to complete
accord, n. m., agreement
accorder, v. a., to grant, to concede
s'accorder, v. r., to agree, to be suited
accoupler, v. a., to couple, to pair
accoutumé, -e, adj., accustomed, used to
accoutumer, v. a., to accustom
accrocher, v. a., to hook, to hang up or upon
accroissement, n. m., increase
accroître, v. a., to increase, to enlarge
accueil, n. m., reception, welcome
accueillir, v. a., to receive, to welcome
accumulat, -eur, -rice, adj., accumulator
accumuler, v. a., to accumulate, to store
accuser, v. a., to accuse of, to blame
acéré, -e, adj., steely, steeled
acétate, n. m., acetate
acétique, adj., acetic
acharnement, n. m., tenacity, stubbornness
acharner, s'acharner, v. r., to be set upon, to be bent upon
acheter, v. a., to buy
achever, v. a., to finish, to conclude
acide, adj., acid, sour, tart
acide acétylacétique, acetoacetic acid
acide azoteux, nitrous acid
acide bromhydrique, hydrobromic acid
acide chlorhydrique, hydrochloric acid
acide cyanhydrique, hydrocyanic acid
acide iohydrique, hydriodic acid
acidifier, v. a., to acidify
acidulé, -e, adj., acidulated, made acid
acier, n. m., steel
aciération, n. f., converting of iron into steel
aciérie, n. f., steel plant
aconit, n. m., aconite
acquérir, v. a., to acquire, to obtain
acquit, n. m., receipt
âcre, adj., sharp, sour, acrimonious
âcreté, n. f., sourness, sharpness
acti, -i, -ve, adj., active, quick
actif, n. m., credit, favor
action, n. f., action, act, operation
activement, adv., actively, vigorously
activer, v. a., to press, to hasten
activité, n. f., actively, action
actuel, -le, adj., actual, real, present
actuellement, adv., now, at the present time
adapter, v. a., to adapt, to apply
s'adapter, v. r., to adapt, to fit
additionner, v. a., to add
additionner de, to treat with
adducteur, adj., adductor (tube adducteur, side-neck, delivery tube)
adhérer, v. a., to adhere, to stick
adipeu-x, -se, adj., adipose, fat
adjoindre, v. a., to adjoin, to associate
adjoint, -e, adj., adjunct, associate
admettre, v. a., to admit, to receive
administrer, v. a., to administer, to manage
admirablement, adv., admirably
s'adonner à, v. r., to addict one's self to

- adoucir**, *v. a.*, to soften, to sweeten, to soothe
adresse, *n. f.*, address, speech, skill
adresser, *v. a.*, to address
s'adresser à, to apply to
adroit, *-e, adj.*, skilful, ingenious
adroitement, *adv.*, skilfully, cleverly
advenir, *v. n.*, to happen, to occur
aérage, *n. m.*, airing, renewal of air
aérer, *v. a.*, to air, to give air
affaiblir, *v. a.*, to weaken, to impair
affaire, *n. f.*, thing, matter, business
affaïsser, *v. a.*, to cause to sink, to bear down
affamé, *-e, adj.*, famished, starving
affecter, *v. a.*, to affect, to destine
affermir, *v. a.*, to strengthen, to harden
affermisssement, *n. m.*, strengthening
affilé, *-e, adj.*, sharp
affinage, *n. m.*, refining
affiner, *v. a.*, to refine
affinité, *n. f.*, affinity
affirmer, *v. a.*, to affirm, to assure
affleurer, *v. a.*, to level, to make flush, to crop out
affligé, *-e, adj.*, afflicted, grieved
affliger, *v. a.*, to afflict, to grieve
affluence, *n. f.*, abundance, a flowing together
affluer, *v. n.*, to flow into, to abound
affranchir, *v. a.*, to set free, to prepay
affreux, *-se, adj.*, frightful, horrible
affronter, *v. a.*, to affront, to face
afin de, afin que, *conj.*, in order that, so that
agacer, *v. a.*, to incite, to irritate
agence, *n. f.*, agency
agent, *n. m.*, agent, transactor
agglomérer, *v. a.*, to agglomerate
agglutiner, *v. a.*, to agglutinate
agir, *v. n.*, to act, to do, to behave
 (il s'agit de, the question is)
agitateur, *n. m.*, agitator, stirring rod
- agitateur à bouton**, stirring rod with flat end
agiter, *v. a.*, to stir, to shake
agrafe, *n. f.*, hook, clasp
agrandir, *v. a.*, to enlarge, to amplify
agrêr, *v. a.*, to accept
agrégation, *n. f.*, aggregation, fellowship
agrégé, *n. m.*, fellow in a university
agricole, *adj.*, agricultural
agriculteur, *n. m.*, farmer, agricultor
agronome, *n. m.*, agriculturist
aide, *n. m.*, help, support
aider, *v. a.*, to help, to assist
aigre, *adj.*, sour, acid
aigre-doux, *adj.*, sourish, bitterish
aigrelet, *-te, adj.*, sourish
aigrement, *adv.*, sourly, harshly
aigreur, *n. f.*, sourness, sharpness
aigrir, *v. a.*, to sour, to turn sour
aigu, *-ë, adj.*, pointed, keen, acute
aiguille, *n. f.*, needle, hand of a clock
aiguiser, *v. a.*, to whet, to sharpen
ail, *n. m.*, garlic
aile, *n. f.*, wing
ailleurs, *adv.*, elsewhere
 (d'ailleurs, besides, moreover)
aisance, *n. f.*, ease, freedom
aise, *n. f.*, ease, comfort, gladness
aise, *adj.*, glad, well pleased
aisé, *-e, adj.*, easy, convenient
aisément, *adv.*, easily, convenient
ajourner, *v. a.*, to adjourn
ajouter, *v. a.*, to add, to join
ajustement, *n. m.*, adjustment, adjusting
ajuster, *v. a.*, to adjust, to regulate, to fit, to adapt
ajutage, *n. m.*, pipe, joint
alarmer, *v. a.*, to alarm
s'alarmer, *v. r.*, to be alarmed
albumine, *n. f.*, albumin, white of egg
albumineux, *-se, adj.*, albuminous
alcali, *n. m.*, alkali

- alcalin**, *adj.*, alkaline
alcalino-terreu-x, -se, *adj.*, alkaline earth
alcaliser, *v. a.*, to make alkaline
alcaloïde, *n. m.*, alkaloid
alcool, *n. m.*, alcohol
alcool allylique, allyl alcohol
alcool amylique, amyl alcohol
alcool éthylique, ethyl alcohol
alcool méthylique, methyl alcohol
alcool propylique, propyl alcohol
alcoolique, *adj.*, alcoholic
alcoyle, *n. m.*, alkyl
alembic, *n. m.*, still, alembic
alentour, *adv.*, about, around, round about
alerte, *adj.*, alert, watchful
aliéner, *v. a.*, to alienate, to give away, to part with
aligner, *v. a.*, to put in a straight line, to lay out
alimentaire, *adj.*, alimentary
alimenter, *v. a.*, to feed, to maintain
alimenteu-x, -se, *adj.*, nutritive
alléger, *v. a.*, to ease, to lighten, to unload
allemand, *adj.*, German
aller, *v. n.*, to go, to be going
s'en aller, *v. r.*, to go away
alliage, *n. m.*, alloy
allier, *v. a.*, to mix, to combine, to alloy
allonge, *n. f.*, adaptor
allonger, *v. a.*, to lengthen, to stretch out
allumer, *v. a.*, to light, to kindle
allumette, *n. f.*, match
allure, *n. f.*, gait, direction
alors, *adv.*, then, at that time
altération, *n. f.*, deterioration, adulteration, misinterpretation, excessive thirst
altérer, *v. a.*, to alter, to cause thirst
alterner, *v. a.*, to alternate
alumine, *n. f.*, alumina
alun, *n. m.*, alum
amadou, *n. m.*, german tinder, pyrotechnical sponge
amas, *n. m.*, mass, heap, accumulation
amasser, *v. a.*, to heap up, to accumulate
ambiant, -e, *adj.*, surrounding (température ambiante, room temperature)
ambigu, -ë, *adj.*, ambiguous
ambitieu-x, -se, *adj.*, ambitious
ambitionner, *v. a.*, to desire earnestly
âme, *n. f.*, soul, mind
améliorer, *v. a.*, to ameliorate, to improve
amenée, *n. f.*, inlet
amener, *v. a.*, to bring, to bring in
am-er, -ère, *adj.*, bitter, sad, painful
amèrement, *adv.*, bitterly
amertume, *n. f.*, bitterness
ameublement, *n. m.*, furniture
ami, *n. m.*, friend
amiante, *n. f.*, asbestos
amiante platinée, platinized asbestos
amidon, *n. m.*, starch
 (emploi d'amidon, starch paste)
amidonner, *v. a.*, to starch
amitié, *n. f.*, friendship
ammonia-c, -que, *adj.*, ammoniacal
ammoniaque, *n. f.*, ammonia
amoindrir, *v. a.*, to lessen, to decrease
amollir, *v. a.*, to soften
amollissement, *n. m.*, softening
amonceler, *v. a.*, to heap up
amorçe, *n. f.*, bait, priming, tinder
amorcer, *v. a.*, to prime, to bait, to start a reaction
amorphe, *adj.*, amorphous
amortir, *v. a.*, to deaden, to allay, to weaken
amour, *n. m.*, love
amplement, *adv.*, amply, fully, largely
amplifier, *v. a.*, to amplify, to enlarge

- ampoule**, *n. f.*, blister, glass bulb
ampoule à brome, dropping funnel
ampoule compte-goutte, *m. d. m. d. c.*
 dropper
ampoule à décantation, separatory
 funnel
ampouler, *v. a.*, to blister
amuser, *v. a.*, to amuse, to entertain
s'amuser, *v. r.*, to enjoy one's self
amylacé, *-e, adj.*, amylaceous
an, *n. m.*, year
analyse, *n. f.*, analysis, outline
analyser, *v. a.*, to analyze
analytique, *adj.*, analytical
anatomiser, *v. a.*, to anatomize
ancien, *-ne, adj.*, ancient, old
ancienneté, *n. f.*, old age, seniority,
 primitiveness
ancrer, *n. f.*, anchor
anéantir, *v. a.*, to annihilate, to de-
 stroy
anglais, *-e, adj.*, English
angle, *n. m.*, angle, corner
angulaire, *adj.*, angular
anguleux, *-se, adj.*, angular
anhydre, *adj.*, anhydrous
anhydre, *n. m.*, anhydride
animer, *v. a.*, to animate, to quicken,
 to give life
anis, *n. m.*, anis, anis seed
anneau, *n. m.*, ring, link of a chain
année, *n. f.*, year
annelé, *-e, adj.*, annulated, having
 rings
annonce, *n. f.*, announcement, publi-
 cation
annoncer, *v. a.*, to announce, to pub-
 lish, to declare
annoter, *v. a.*, to annotate
annuaire, *n. m.*, annual
annuel, *-le, adj.*, annual, yearly
annuler, *v. a.*, to annul, to make void,
 to cancel
anodin, *-e, adj.*, anodyne, paregoric
anormal, *-e, adj.*, abnormal
antérieur, *-e, adj.*, anterior, former
antérieurement, *adv.*, previously
anticiper, *v. a.*, to anticipate, to fore-
 stall
apaiser, *v. a.*, to appease, to soothe
apanage, *n. m.*, appanage, lot
apercevoir, *v. a.*, to perceive, to notice
s'apercevoir de, *v. r.*, to notice, to be
 aware of
aperçu, *n. m.*, sketch, glance, rough
 estimate
à peu près, *adv.*, approximately, about
aplanir, *v. a.*, to smooth, to level, to
 remove
aplatir, *v. a.*, to flatten
apparaître, *v. a.*, to appear, to come in
 sight
appareil, *n. m.*, apparatus
apparemment, *adv.*, apparently
apparence, *n. f.*, appearance, likeli-
 hood
apparent, *-e, adj.*, apparent, evident
appartenir à, *v. n.*, to belong to
appel, *n. m.*, appeal, call
appeler, *v. a.*, to call, to name
s'appeler, *v. r.*, to be called, to call
 one's self
appesantir, *v. a.*, to weigh down, to
 make heavy
appliqué, *-e, adj.*, intent, perseverant
appliquer, *v. a.*, to apply, to apply to,
 to fit
apporter, *v. a.*, to bring
apprécier, *v. a.*, to appreciate, to
 value, to estimate
appréhender, *v. a.*, to apprehend, to
 fear
apprendre, *v. a.*, to learn, to teach, to
 tell
apprêt, *n. m.*, preparation
apprêter, *v. a.*, to prepare, to get
 ready

- s'apprêter à, v. r.*, to get one's self ready to
approché, -e, adj., approximate
approcher, v. a., to bring near, to draw near
s'approcher de, v. r., to come near, to draw near
approfondir, v. r., to deepen, to examine thoroughly
approprié, v. a., to appropriate, to adapt, to fit
approuver, v. a., to approve, to approve of, to authorize
approvisionnement, n. m., supply
appui, n. m., prop, support
appuyer, v. a., to support, to prop up, to strengthen
s'appuyer, v. r., to lean, to recline upon
après, prep., after, next
après que, conj., after, when
après-demain, adv., day after to-morrow
âpreté, n. f., harshness, tartness
aqueu-x, -se, adj., aqueous
arable, adj., tillable
aratoire, adj., aratory
 (instruments aratoires, farm instruments)
arbre, n. m., tree, shaft
arbrisseau, n. m., young tree, shrub
arc-bouter, v. a., to support, to prop
arc-en-ciel, n. m., rainbow
ardent, -e, adj., hot, burning, glowing
ardeur, n. f., ardour, heat, intensity
ardoise, n. f., slate
arête, n. f., incrustations in the form of a ring or halo
argent, n. m., silver, money
argenté, adj., silver plated
argile, n. f., clay
argileu-x, -se, adj., clayey, clayish
aride, adj., sterile, barren
armé, -e, adj., armed, equipped
aromatique, adj., aromatic, fragrant
arqué, -e, arched
arracher, v. a., to extract, to force out of
arrangement, n. m., arrangement, order, method, terms
arranger, v. a., to arrange, to set in order
arrêter, v. a., to stop, to delay
s'arrêter, v. r., to stop
arrière, adv., behind, aft
arriérer, v. a., to defer, to put off
arrivée, n. f., arrival, inlet
 (tube d'arrivée, inlet tube)
arriver, v. n., to arrive, to be coming, to occur
arrondi, -e, adj., rounded
arrondir, v. a., to round off, to make round
arroser, v. a., to water, to wet
arsénieux, adj., arsenious
arséniure d'hydrogène, n. m., arseniureted hydrogen
artifice, n. m., art, contrivance
ascendant, -e, ascending
aspect, n. m., aspect, look, point of view
aspirateur, n. m., exhauster
aspirer, v. a., to suck in, to aspire, to exhaust
assaillir, v. a., to assail, to attack
assainir, v. a., to make wholesome, to render healthful
assembler, v. a., to assemble, to gather, to put together
asseoir, v. a., to seat, to set
asseoir, v. a., to seat, to set seated
assez, adv., enough, rather
assidument, adv., assiduously, constantly
assiette, n. f., plate
assigner, v. a., to assign, to appoint
assister, v. a., to assist, to help

- assister à, *v. n.*, to be present at
 associer, *v. a.*, to associate
 s'associer, *v. r.*, to enter into partnership with someone, to be connected with
 assorti, -e, stocked, furnished, matched
 assortir, *v. a.*, to sort, to match
 assouplir, *v. a.*, to make supple, flexible
 assurer, *v. a.*, to assure, to assert
 s'assurer de, *v. r.*, to secure, to make sure of
 atelier, *n. m.*, workshop
 atome, *n. m.*, atom
 attache, *n. f.*, string, fastening
 attacher, *v. a.*, to tie, to attach
 s'attacher à, *v. r.*, to become attached to
 attaquable, *adj.*, assailable
 attaquer, *v. a.*, to attack, to assail
 atteindre, *v. a.*, to reach, to attain, to strike
 attenant, -e, *adj.*, next, adjoining
 attendre, *v. a.*, to wait for, to expect
 s'attendre à, *v. r.*, to expect
 attendrir, *v. a.*, to soften, to move
 attendu, -e, *part.*, expected
 attendu, *prep.*, considering, on account of
 attendu que, seeing that, inasmuch as
 attente, *n. f.*, expectation, hope
 attentif, -ve, *adj.*, attentive, careful
 atténuer, *v. a.*, to attenuate, to weaken
 attédier, *v. a.*, to cool, to make lukewarm
 attirer, *v. a.*, to attract, to draw
 s'attirer, *v. r.*, to incur, to draw upon one's self, to attract each other
 attirer, *v. a.*, to allure, to entice
 attrait, *n. m.*, attractive, charm
 attraper, *v. a.*, to catch, to take in
 attrayant, -e, *adj.*, attractive, inviting
 attribuer, *v. a.*, to attribute, to ascribe, to assign
 aucun, -e, *adj.*, any
 (ne...aucun, none, not any)
 aucunement, *adv.*, in no wise, not at all, not in the least
 au-delà, *prep.*, beyond, on the other side
 augmenter, *v. a.*, to increase, to raise;
v. n., to grow, to multiply
 aujourd'hui, *adv.*, to-day, now
 auparavant, *adv.*, before, heretofore
 auprès, *prep.*, near, close to, in comparison with
 aussi, *adv.*, too, also, likewise, besides, accordingly
 aussi, *conj.*, therefore
 aussitôt, *adv.*, immediately, directly
 autant, *adv.*, as much, as many, so much, so many
 d'autant plus que, the more so, so much the more
 d'autant moins, the less, so much the less
 d'autant que, *conj.*, seeing, more especially as
 auteur, *n. m.*, author
 autoriser, *v. a.*, to authorize, to empower
 autour, *prep.*, around, about
 autre, *adj.*, other, different, another, else
 autrefois, *adv.*, formerly
 autrement, *adv.*, otherwise, else
 avaler, *v. a.*, to swallow
 avance, *n. f.*, advance, start
 avancé, -e, *part.*, advanced, forward
 avancer, *v. a.*, to advance, to put forward, to bring nearer
 avant, *prep.*, before
 avant que, *conj.*, before
 avantage, *n. m.*, advantage
 avantageusement, *adv.*, advantageously

avantageu-x, -se, adj., advantageous, profitable
avarie, n. f., damage
avec, prep., with, together, among
avenir, n. m., the future
aventurer, v. a., to venture
s'aventurer, v. r., to venture
avertir, v. a., to warn, to give notice of
aveu, n. m., confession, avowal
aveugle, adj., blind
aveugler, v. a., to blind, to dazzle
avide, adj., greedy, eager, desirous
avidité, n. f., avidity, eagerness
avis, n. m., advice, sentiment, opinion
aviser, v. a., to consider, to think upon
s'aviser de, v. r., to take it into one's head
avoine, n. f., oats
avoir, v. a., to have, to get, to be the matter with
avouer, v. a., to confess, to acknowledge
axe, n. m., axis, axle
azoïque, adj., azo
azotate, n. m., nitrate
azotate d'argent, silver nitrate
azote, n. m., nitrogen
azoté, adj., nitrogeous
azotique, adj., nitric

B

badigeonner, v. a., to whitewash
badiner, v. a., to trifle
bagage, n. m., luggage, baggage
bague, n. f., ring
baguette, n. f., rod, small stick
 (baguette en verre, glass rod)
baigner, v. a., to bathe, to dip
se baigner, v. r., to bathe
bain, n. m., bath, bathing place
bain d'huile, oil bath
bain-marie, n. m., water-bath

baisse, n. f., fall, fall in value
baisser, v. a., to let down, to lower, to droop
baisser, v. n., to lower, to go down, to fall
se baisser, v. r., to stoop
balai, n. m., broom, brush
balance, n. f., balance, scales
balancer, v. a., to balance, to swing, to counterbalance
se balancer, v. r., to swing, to rock
balancier, n. m., pendulum
balayage, n. m., sweeping
balayer, v. a., to sweep
balayures, n. f., sweepings
baleine, n. f., whale
balle, n. f., ball, bullet, shot, bale
ballon, n. m., balloon, round flask
ballon à distiller, distilling flask
balloter, v. a., to toss, to toss about
banane, n. f., banana
banc, n. m., bench, scat
bandage, n. m., bandage, belt
bande, n. f., band, belt, strip, gang
bander, v. a., to bind up, to tighten
bannir, v. a., to banish, to expel
banque, n. f., bank
baratter, v. a., to churn
barbare, adj., savage, barbarous
barbe, n. f., beard, whiskers
barbelé, -e, bearded, barbed
barboter, v. n., to bubble (of a gas)
barboteur, n. m., bubbler, washer, gas washer
barbouiller, v. a., to daub, to soil, to blot
baril, n. m., barrel, flask
barillet, n. m., hydraulic main of gas works
barre, n. f., bar, railing, bolt, dash, stripe
barrer, v. a., to bar, to fence up, to stop up
baryte, n. f., baryta

- bas, -se, *adj.***, low, shallow, mean, inferior
bas, *n. m.*, lower part, bottom, foot, stocking
bascule, *n. f.*, weighing scales, lever, rocker
base, *n. f.*, base, basis, foundation
baser, *v. a.*, to base, to fix, to found
se* baser, *v. r., to be fixed, to be founded
bassin, *n. m.*, basin, pond
bataille, *n. f.*, battle, fight
bateau, *n. m.*, boat, barge
bâtiment, *n. m.*, building, vessel
bâtir, *v. a.*, to build, to raise
bâton, *n. m.*, stick, cane
battage, *n. m.*, threshing
batterie, *n. f.*, battery
batterie électrique, *n. f.*, electric battery
battre, *v. a.*, to beat, to strike, to thrash grain
se* battre, *v. r., to fight
baume, *n. m.*, balm, balsam
beau, bel, belle, *adj.*, beautiful, fine, lofty, noble
beaucoup, *adv.*, many, much, a great deal, far
bec, *n. m.*, beak, bill, burner
belladonne, *n. f.*, belladonna, deadly night-shade
bénéfice, *n. m.*, benefit, advantage
bénéficier, *v. n.*, to gain, to profit by
benzoïque, *adj.*, benzoic
besogne, *n. f.*, work, labour
besoin, *n. m.*, need, want, distress
 (avoir besoin de, to need)
bétail, *n. m.*, sing., **bestiaux, *plur.***, cattle
betterave, *n. f.*, beet, beet-root
 (sucre de betterave, beet sugar)
beurre, *n. m.*, butter
biaisier, *v. a.*, to slope, to slant, to lean
bibromé, *adj.*, dibrom
bien, *n. m.*, good, welfare, property
bien, *adv.*, well, right, proper, indeed quite
bien que, *conj.*, though, although
bientôt, *adv.*, soon, shortly
bière, *n. f.*, beer
bijou, *n. m.*, jewel
bile, *n. f.*, bile, gall
bille, *n. f.*, ball, glass ball
binaire, *adj.*, binary
binitré, *adj.*, dinitro
bitume, *n. m.*, bitumen
bitumineux, -se, *adj.*, bituminous
bizarre, *adj.*, odd, queer, strange
blafard, -e, *adj.*, dull
blâme, *n. m.*, blame, reproach
blâmer, *v. a.*, to blame, to find fault with
blanc, -he, *adj.*, white, clean
blanc, *n. m.*, white
blanc d'Espagne, *n. m.*, chalk
bleu de Prusse, *n. m.*, Prussian blue
bleu, -e, *adj.*, blue
blond, -e, *adj.*, blond, flaxen, light
bloquer, *v. a.*, to blockade, to fill up (of cavities)
bobine, *n. f.*, spool, coil
bobine de Rumkorff, *n. f.*, Rumkorff coil
bocal, *n. m.*, large phial, short-necked bottle
bœuf, *n. m.*, ox, beef
boire, *v. a.*, to drink
blanchâtre, *adj.*, whitish
blanchiment, *n. m.*, bleaching
blanchir, *v. a.*, to whiten, to bleach
blé, *n. m.*, wheat
blesser, *v. a.*, to wound, to hurt, to offend
blesseure, *n. f.*, wound, hurt
bois, *n. m.*, wood, forest
boisson, *n. f.*, beverage, drink
boîte, *n. f.*, box, case
bombarder, *v. a.*, to bombard
bomber, *v. a.*, to swell out, to cause anything to bulge

- bon, -ne, *adj.***, good, kind, fine, proper, convenient
bond, *n. m.*, bound
bonde, *n. f.*, bung, bung-hole, sluice
bondir, *v. n.*, to bounce, to rebound
bondon, *n. m.*, bung, bung-hole
bonheur, *n. m.*, happiness, good fortune
bonjour, *n. m.*, good morning, good day
bonsoir, *n. m.*, good evening
bonté, *n. f.*, goodness, kindness
bord, *n. m.*, shore, bank, side, margin
border, *v. a.*, to edge, to hem, to border
bordure, *n. f.*, border, frame, edge
borne, *n. f.*, landmark, boundary, limit
borner, *v. a.*, to bound, to limit, to restrict
se borner à, v. r., to keep within bounds
bosse, *n. f.*, protuberance, lump
bouche, *n. f.*, mouth, lips, muzzle
bouchée, *n. f.*, mouthful
boucher, *v. a.*, to stop, to stopper, to obstruct
bouchon, *n. m.*, cork, stopper
boucle, *n. f.*, buckle, ring, curl, lock
boue, *n. f.*, mud, sediment
bouger, *v. n.*, to stir, to budge
bougie, *n. f.*, wax-candle
bouillant -e, *adj.*, boiling, hot
bouillie, *n. f.*, paste, pulp
bouillir, *v. n.*, to boil, to simmer
bouillon, *n. m.*, broth, bubbling
bouillonnement, *n. m.*, bubbling up, ebullition
bouillonner, *v. n.*, to boil, to bubble
boulangier, *n. m.*, baker
boule, *n. f.*, ball
boulet, *n. m.*, bullet, ball
boulette, *n. f.*, small ball
bouleverser, *v. a.*, to overthrow, to upset
boulon, *n. m.*, bolt
bouquet, *n. m.*, bunch, cluster, tuft, aroma of wine
bourdonnement, *n. m.*, buzzing, humming
bourdonner, *v. n.*, to hum, to buzz
bourgeon, *n. m.*, bud, shoot
bourgeonner, *v. n.*, to bud
bourrelet, *n. m.*, pad
bourrelet soufflé, *n. m.*, enlargement
bourrer, *v. a.*, to stuff, to ram
bourse, *n. f.*, purse, scholarship
boursoufflé, -e, *adj.*, bloated, inflated
bout, *n. m.*, end, tip, nipple
bouteille, *n. f.*, bottle
bouton, *n. m.*, button, stud, knob
boutonner, *v. a.*, to button
boyau, *n. m.*, bowel, gut
braise, *n. f.*, live coal, embers
branche, *n. f.*, branch, arm, part, division
brandir, *n. a.*, to brandish, to swing
braquer, *v. a.*, to set, to point, to level
bras, *n. m.*, arm
brave, *adj.*, brave, gallant
braver, *v. a.*, to defy, to dare, to face
brèche, *n. f.*, breach, flaw, gap
br-ef, ève, *adj.*, brief, short, compact
brevet, *n. m.*, warrant, patent, license
bréveté, -e, *adj.*, patented
brièvement, *adj.*, briefly, in short
brièveté, *n. f.*, brevity, shortness, conciseness
brillant, -e, *adj.*, brilliant, shining, sparkling
briller, *v. n.*, to shine, to sparkle, to glitter
brin, *n. m.*, blade, sprig
briser, *v. a.*, to break to pieces, to crack, to shatter
bromure, *n. m.*, bromide
bromure d'éthyle, ethyl bromide

bromure de méthyle, methyl bromide
bromure de potassium, potassium
bromide

brosser, *v. a.*, to brush

brouillard, *n. m.*, fog, mist, haze

brouiller, *v. a.*, to throw into confusion, to embroil, to confuse

broyer, *v. a.*, to crush, to grind

bruit, *n. m.*, noise

brûler, *v. a.*, to burn, to cauterize, to scorch

se brûler, *v. r.*, to burn one's self, to be burned

brûleur, *n. m.*, burner

brun, -e, *adj.*, brown, dark

brunâtre, *adj.*, brownish

brunir, *v. a.*, to brown, to darken, *v. n.*, to turn brown

brusque, *adj.*, abrupt, blunt, rough

brusquement, *adv.*, bruskiy, abruptly

brut, -e, *adj.*, rough, raw

bruyamment, *adv.*, noisily

bruyant, -e, *adj.*, noisy, loud

bureau, *n. m.*, office, desk, committee

burette à robinet, *n. f.*, burette with glass stopcock

but, *n. m.*, mark, object, aim, purpose

buvard, *adj.*, absorbent

buvard, *n. m.*, blotting paper

C

cabinet, *n. m.*, closet, study

cache, *v. a.*, to hide, to conceal

cacheter, *v. a.*, to seal

cadran, *n. m.*, dial

cadre, *n. m.*, frame

cadrer, *v. a.*, to fit in

café, *n. m.*, coffee, coffee-berry

cage, *n. f.*, cage, coop, casing

cahier, *n. m.*, copy-book

cailler, *v. a.*, *v. n.*, to curdle, to clot

se cailler, *v. r.*, to coagulate

caillot, *n. m.*, clot

caillou, *n. m.*, pebble, flint-stone

caisse, *n. f.*, case, box, coffer, cylinder

calcaire, *n. m.*, limestone, carbonate

calciner, *v. a.*, to calcine

calculable, *adj.*, that may be calculated

calculer, *v. a.*, to calculate, to compute, to estimate

caler, *v. a.*, to block, to level

calibre, *n. m.*, caliber, bore of a gun

calme, *adj.*, calm, still, quiet

calme, *n. m.*, calm, stillness, quiet

calmer, *v. a.*, to still, to appease, to pacify

se calmer, *v. r.*, to become calm

calorifique, *adj.*, calorific

camphre, *n. m.*, camphor

camphré, -e, *adj.*, camphorated

canal, *n. m.*, canal, pipe, tube, flue

candidement, *adv.*, openly, frankly

canne à sucre, *n. f.*, sugar cane

cannelure, *n. f.*, fluting

canon, *n. m.*, cannon, roll

(soufre en canons, roll sulphur)

caoutchouc, *n. m.*, rubber

(tube de caoutchouc, rubber tubing)

capable, *adj.*, able, fit, capable

capablement, *adv.*, skilfully

capacité, *n. f.*, extent, capacity

capillaire, *adj.*, capillary

caprice, *n. m.*, whim, humor, fit, caprice

capsule, *n. f.*, pod, round dish

capsule d'évaporation, porcelain evaporating dish

capsule en porcelaine, porcelain dish

captiver, *v. a.*, to captivate, to enslave

capuchonné, -e, hooded

caractère, *n. m.*, character, letter, type, print, stamp, mark

caractériser, *v. a.*, to characterize

carbone, *n. m.*, carbon

carboné, -e, *adj.*, carbonated

carbonique, *adj.*, carbonic

- carbonisation, *n. m.*, carbonization
 carboniser, *v. a.*, to carbonize
 carbure d'hydrogène, *n. m.*, hydrocarbon
 carbon
 carbure acétylénique, acetylene hydrocarbon
 carbure aromatique, aromatic hydrocarbon
 carbure éthylénique, ethylene hydrocarbon
 carbure saturé, saturated hydrocarbon
 carnet, *n. m.*, note-book, memorandum
 carré, -e, *adj.*, square
 carrément, *adv.*, squarely
 carrer, *v. a.*, to square
 carrière, *n. f.*, career, quarry
 carte, *n. f.*, card, map
 carton, *n. m.*, pasteboard
 cartonné, -e, *adj.*, bound in cardboard
 cas, *n. m.*, case, event
 case, *n. f.*, division, pigeon-hole
 caséux, *adj.*, caseinlike, cheesy
 caser, *v. a.*, to place, to find a place
 cassant, -e, *adj.*, brittle
 casse, *n. f.*, breakage
 casser, *v. a.*, to break, to crack
 se casser, *v. r.*, to break, to break down, to snap
 casserole, *n. f.*, casserole, sauce-pan
 cassure, *n. f.*, break, breaking
 casuellement, *adv.*, casually, by chance
 cause, *n. f.*, cause, grounds, motive, subject
 causer, *v. a.*, to cause, to occasion, to be the cause of
 causer, *v. n.*, to talk
 causticité, *n. f.*, causticity
 caustique, *adj.*, caustic, biting
 cavalier, *n. m.*, rider (of a balance)
 cave, *n. f.*, cave, cellar
 ce, cet, *m.*, cette, *f.*, ces, *plur.*, *dem. adj.*, this, that, these, those
 ce, *dem. pron.*, he, she, it, they
 ce qui, ce que, ce dont, that which, that of what
 ceci, *dem. pron.*, this
 céder, *v. a.*, to give up, to yield
 céder, *v. n.*, to give way, to give in, to submit
 ceindre, *v. a.*, to enclose, to surround, to bind, to encircle
 ceinture, *n. f.*, belt, girdle, enclosure, circle
 cela, *dem. pron.*, that
 célèbre, *adj.*, famous, celebrated
 célébrer, *v. a.*, to celebrate, to solemnize
 celle, *dem. pron.*, that, she
 cellule, *n. f.*, cell
 celui, *m.*, celle, *f.*, ceux, celles, *plur.*, *dem. pron.*, he, she, him, her, they, them, that, those
 celui-ci, celle-ci, ceux-ci, celles-ci, *dem. pron.*, this, these
 celui-là, celle-là, ceux-là, celles-là, *dem. pron.*, that, those
 cendre, *n. f.*, ashes, cinder, dust
 cendre d'os, bone-ash
 cendreu-x, *adj.*, ashy, covered with ashes
 cent, *adj.*, hundred
 centaine, *n. f.*, hundred
 centième, *adj.*, hundredth
 centraliser, *v. a.*, to centralize
 centre, *n. m.*, centre, middle
 centuple, *adj.*, a hundred fold
 centupler, *v. a.*, to augment a hundred fold
 cependant, *adv.*, in the mean time, however, nevertheless, yet
 cercle, *n. m.*, circle, sphere
 céréales, *n. f. pl.*, corn grain, corn crops
 cerise, *n. f.*, cherry
 cerner, *v. a.*, to surround, to encompass

- certain, -e, *adj.*, certain, sure, positive
 certainement, *adv.*, certainly, surely,
 indeed
 certes, *adv.*, indeed, certainly
 certifier, *v. a.*, to certify, to testify
 cêruse, *n. f.*, basic lead carbonate
 cerveau, *n. m.*, brain, mind
 cesser, *v. n.*, to cease, to discontinue,
 to end
 cesser, *v. a.*, to cease, to leave off
 cêtone, *n. m.*, ketone
 chacun, -e, *adj.*, each, everyone
 chagrin, *n. m.*, sorrow, grief, trouble
 chaîne, *n. f.*, chain, bonds
 chaîne latérale, side chain
 chair, *n. f.*, flesh, meat
 chaise, *n. f.*, chair, seat
 chaleur, *n. f.*, heat, warmth
 chalumeau, *n. m.*, blow-pipe
 chalumeau à bouche, mouth blow-
 pipe
 chalumeau articulé, blast lamp
 change, *n. m.*, exchange
 changeant, -e, *adj.*, changeable, fickle,
 variable
 changement, *n. m.*, change, variation
 changer, *v. a.*, to change, to exchange,
 to convert, to transform
 se changer, *v. r.*, to be changed, to be
 converted
 chanvre, *n. m.*, hemp
 chapitre, *n. m.*, chapter, subject
 chaque, *adj.*, each, every
 charbon, *n. m.*, coal, charcoal
 charbonner, *v. a.*, *v. n.*, to carbonize
 charge, *n. f.*, load, pack, tax, burden,
 accusation
 chargé, -e, *adj.*, loaded, burdened,
 trusted with
 charger, *v. a.*, to load, to burden, to
 charge with
 se charger de, *v. r.*, to take charge
 charmer, *v. a.*, to charm, to please
 chasser, *v. a.*, to chase, to expel, to
 drive
 châtain, -e, *adj.*, chestnut, auburn
 chaud, -e, *adj.*, hot, warm
 chaud, *n. m.*, heat, warmth
 chaudière, *n. f.*, kettle, boiler
 chaudière d'évaporation, evaporating
 kettle
 chauffage, *n. m.*, firing, heating
 chauffant, -e, *adj.*, heating
 (plaque chauffante, hot plate)
 chauffer, *v. a.*, to heat, to warm
 chaux, *n. f.*, lime, limestone
 chef, *n. m.*, chief, head
 chef de file, first member
 chemin, *n. m.*, way, road, path
 cheminée, *n. f.*, chimney, fire-place
 cher, chère, *adj.*, dear, costly
 chercher, *v. a.*, to seek, to look for, to
 search, to endeavor, to attempt
 chercheur, *n. m.*, research man
 chèrement, *adv.*, dearly
 cheval, *n. m.*, horse
 (à cheval, astride)
 cheveu, *n. m.*, hair
 cheville, *n. f.*, peg, pin, plug
 chiffre, *n. m.*, figure, number
 chimie, *n. f.*, chemistry
 chimique, *adj.*, chemical
 chimiste, *n. m.*, chemist
 chirurgie, *n. f.*, surgery
 chirurgien, *n. m.*, surgeon
 chirurgique, *adj.*, surgical
 chlore, *n. m.*, chlorine
 chlorhydrate, *n. m.*, hydrochlorate
 chlorhydrique, *adj.*, hydrochloric
 chlorique, *adj.*, chloric
 chlorure, *n. m.*, chloride
 choc, *n. m.*, shock, encounter, colli-
 sion, blow
 choisir, *v. a.*, to choose, to select
 choix, *n. m.*, choice, option, selection
 choquer, *v. a.*, to shock, to strike, to
 dash against

- se choquer, v. r.*, to come into collision with
chose, n. f., thing, matter, affair
chute, n. f., fall, falling, decline
ci, adv., here
cidre, n. m., cider
ciel, n. m. sing., *cieux, plur.*, sky, heavens
ciment, n. m., cement, concrete
ciment armé, reenforced concrete
cimenter, v. a., to cement, to strengthen
cinnabre, n. m., cinnabar
cinq, adj., five
cinquante, n. f., about fifty
cinquante, adj., fifty
cinquantième, n. m., adj., fiftieth, the fiftieth part
cinquième, adj., n. m., fifth, the fifth part
cintrer, v. a., to arch, to curve
circonstance, n. f., circumstance
circuler, v. a., to circulate, to pass from hand to hand
cire, n. f., wax, bees' wax
cire à cacheter, n. f., sealing wax
ciseaux, n. m. plur., scissors
citer, v. a., to cite, to quote, to name
citrique, adj., citric
clais, n. f., perforated wooden tray
clair, -e, adj., clear, bright, shining, transparent
claircer, v. a., to decolorize
clairement, adv., clearly, plainly, distinctly
clarifier, v. a., to clarify, to purify
clarté, n. f., light, clearness, transparency
classe, n. f., class, order, rank
clef, n. f., key, plug
cloche, n. f., bell, dish-cover, bell-jar
cloche à douille, bell-jar with open top
cloche graduée, graduated gas burette
cloison, n. f., partition
clos, -e, adj., closed, tight, shut
clou, n. m., nail
clouer, v. a., to nail
coaguler, v. a., to coagulate, to coagulate
cœur, n. m., heart, soul, courage
coiffer, v. a., to cap, to cover
coin, n. m., corner, angle
col, n. m., neck
colère, n. f., passion, anger, wrath, rage
collaborat-eur, -trice, adj., fellow laborer, contributor
collaboration, n. f., assistance, contribution
colle, n. f., paste, glue
colle de poisson, fish glue
coller, v. a., to paste, to glue
colorant, -e, adj., colouring
coloré, -e, adj., coloured
colorer, v. a., to color, to dye
combat, n. m., fight, battle, contest
combattre, v. a., to fight, to battle with
combien, adv., how much, how many, how, how long
combiner, v. a., to combine, to contrive
combler, v. a., to heap up, to make up, to fill up
comestible, n. m., eatable, provisions
commande, n. f., order
commander, v. a., to command, to order
comme, adv., like, so, almost, nearly, as if, how
commencement, n. m., beginning
commencer, v. a., to begin
comment, adv., how, in what manner, why, wherefore
commenter, v. a., to comment, to criticize

- commettre**, *v. a.*, to commit, to perpetrate, to appoint
commode, *adj.*, convenient, comfortable
commodité, *n. f.*, convenience, accommodation, conveyance
commun, *-e, adj.*, common, usual, ordinary
communiquer, *v. a.*, to impart, to communicate
compagnie, *n. f.*, company, society
comparaître, *v. n.*, to appear
compenser, *v. a.*, to compensate, to counterbalance
complaisance, *n. f.*, kindness
complet, *m.*, **complète**, *f. adj.*, complete, full, total
compliquer, *v. a.*, to complicate, to render intricate
se comporter, *v. r.*, to behave, to go on
composant, *n. m.*, component
composé, *-e, adj.*, composed, complicate
composé, *n. m.*, compound
composé d'addition, addition product
composé de substitution, substitution product
composé saturé, saturated compound
composé non saturé, unsaturated compound
composé nitré, nitro compound
composé sulfoné, sulphonated compound
composer, *v. a.*, to compose, to form, to compound
comprendre, *v. a.*, to understand, to comprehend, to include
compressible, *adj.*, compressible
comprimer, *v. a.*, to compress, to condense
compromettre, *v. a.*, to compromise, to implicate
compromis, *n. m.*, mutual agreement, compromise
compte, *n. m.*, account, reckoning, calculation
compter, *v. a.*, to count, to reckon, to number
compte rendu, *n. m.*, report, statement, proceedings
concasser, *v. a.*, to pound, to bruise, to crush
concéder, *v. a.*, to grant, to yield
concentrer, *v. a.*, to concentrate
concernant, *prep.*, concerning, relating to
concevoir, *v. a.*, to conceive, to imagine, to express
concilier, *v. a.*, to conciliate, to reconcile
conclure, *v. a.*, to conclude, to infer
concourir, *v. a.*, to concur, to compete, to contribute
concoure, *n. m.*, concurrence, co-operation, competition
concr-et, ète, *adj.*, concrete
concurrence, *n. f.*, competition, opposition
concurrent, *n. m.*, competitor
condamner, *v. a.*, to condemn, to blame, to censure
condenser, *v. a.*, to condense
condition, *n. f.*, condition, circumstances, nature, quality
conditionner, *v. a.*, to put into good condition
conduct-eur, -rice, *adj.*, conductor
conduire, *v. a.*, to conduct, to convey, to carry, to go along with
se conduire, *v. r.*, to behave one's self
conduit, *n. m.*, pipe, passage, duct
conduite, *n. f.*, conduct, management, behavior
confiance, *n. f.*, confidence, reliance, trust
confier, *v. a.*, to confide, to intrust

- se confier à, v. r.*, to trust in, to place confidence in
confirmer, v. a., to confirm, to ratify
confisquer, v. a., to confiscate, to forfeit
conflit, n. m., contention, strife, conflict
confondre, v. a., to confuse, to mix
conformer, v. a., to conform
se conformer à, v. r., to conform one's self, to comply with
confronter, v. a., to confront, to stand face to face
confus, -e, adj., confused, mixed
congeler, v. a., to congeal, to coagulate
se congeler, v. r., to congeal, to coagulate
connaissance, n. f., knowledge, acquaintance, learning
connaître, v. a., to know, to be aware of, to be acquainted with
se connaître, v. r., to know each other
se connaître en, to be an expert in
connu, -e, part., known, understood
conquérir, v. a., to conquer, to subdue
consacrer, v. a., to consecrate, to devote
conscient, -e, adj., conscious
consécutif, -ve, adj., consecutive
conseil, n. m., counsel, advice, board
conseiller, v. a., to advise, to counsel
consentir, v. n., to consent, to agree to
conséquence, n. f., consequence, sequel
conserve, n. f., glass jar
conserver, v. a., to preserve, to keep, to maintain
se conserver, v. r., to be preserved, to keep
considérer, v. a., to consider, to take into consideration, to look at
consommer, v. a., to consume, to complete, to finish
constante, n. f., constant quantity
constater, v. a., to ascertain, to verify
construction, n. f., construction, building, structure
construire, v. a., to construct, to build, to erect
consulter, v. a., to consult, to advise with, to confer
contempler, v. a., to contemplate, to behold
contenir, v. a., to contain, to comprise, to keep in, to hold in check
content, -e, adj., contented, satisfied, pleased
contenter, v. a., to give satisfaction, to satisfy
se contenter, v. r., to be satisfied with
conter, v. a., to tell, to relate
contester, v. a., to contest, to dispute, to deny
contigu, -é, adj., contiguous, adjoining
continu, -e, adj., continuous, uninterrupted, incessant
continuel, -le, adj., continual
continuellement, adj., continually
continuer, v. a., to continue, to proceed with
contour, n. m., circuit, outline
contracter, v. a., to contract, to make a mutual agreement
contracter, v. n., to shrink
se contracter, v. r., to shrink
contradictoire, adj., contradictory, inconsistent
contraignant, -e, adj., compelling
contraindre, v. a., to compel, to force, to pinch
se contraindre, v. r., to refrain
contraint, -e, adj., forced, cramped
contraire, adj., contrary, opposite
contraire, n. m., opposite
contrairement, adv., contrarily

- contrarier**, *v. a.*, to oppose
contrastant, *adj.*, contrasting
contraster, *v. a.*, to contrast
contrat, *n. m.*, contract, deed
contre, *prep.*, against, contrary to,
near close
contre-balancer, *v. a.*, to counterbal-
ance
contre-coup, *n. m.*, counter stroke
contredire, *v. a.*, to contradict
contrefaçon, *n. f.*, counterfeit, forgery
contrefaire, *v. a.*, to counterfeit, to
imitate
contresens, *n. m.*, contrary sense,
wrong meaning, opposite
contribuer, *v. a.*, to contribute, to
conduce
contrôler, *v. a.*, to control, to check
contrôleur, *n. m.*, superintendent, cen-
surer
convaincre, *v. a.*, to convince, to per-
suade
se convaincre, *v. r.*, to be convinced
convaincu, *-e, adj.*, convinced
convenable, *adj.*, suitable, fit, proper,
convenient
convenablement, *adv.*, suitably, fitly
convenir, *v. n.*, to argue, to admit, to
acknowledge
converger, *v. a.*, to converge
convertir, *v. a.*, to convert, to change,
to turn
convertissable, *adj.*, convertible
convertisseur, *n. m.*, converter
copeau, *n. m.*, chip, shavings (of
wood or metal)
copie, *n. f.*, copy, imitation
copier, *v. a.*, to copy
copieusement, *adv.*, copiously, abun-
dantly
copulation, *n. f.*, coupling
corde, *n. f.*, rope, string
corne, *n. f.*, horn
cornue, *n. f.*, retort
corps, *n. m.*, body, substance
corps composé, compound
corps gras, fat
corps simple, element
correct, *-e, adj.*, accurate
correctement, *adv.*, correctly, accu-
rately
corriger, *v. a.*, to correct, to rectify
corrompre, *v. a.*, to corrupt, to adul-
terate
côté, *n. m.*, side
coton, *n. m.*, cotton
coton, poudre, *n. m.*, gun-cotton
cou, *n. m.*, neck
couche, *n. f.*, layer, stratum, bed
coucher, *v. a.*, to put to bed, to lay
down
se coucher, *v. r.*, to go to bed, to lie
down
coude, *n. m.*, elbow, bend, angle
coudé, *-e*, bent, having an elbow
couder, *v. a.*, to bend
coulant, *-e, adj.*, flowing
coulée, *n. f.*, discharge
couleur, *n. f.*, color, coloring, paint
coup, *n. m.*, blow, stroke, hit
coupe, *n. f.*, cutting
couper, *v. a.*, to cut, to cut off
courbe, *n. f.*, curve
courber, *v. a.*, to curve, to bend
courbure, *n. f.*, curve, curvature
coureur, *n. m.*, runner, racer
courir, *v. n.*, to run, to run after
couronnement en éventail, *n. m.*, wing-
top or flat burner
courroie, *n. f.*, strap, belt
cours, *n. m.*, course, stream, current
course, *n. f.*, race, running
court, *-e, adj.*, short, brief
coussin, *n. m.*, cushion, pad
couteau, *n. m.*, knife
coûter, *v. a.*, to cost; *v. n.*, to be ex-
pensive
coûteux, *-se, adj.*, costly

coutume, n. f., custom, habit
couvercle, n. m., cover, lid
couvert, -e, part., covered, hid
couvrir, v. a., to cover, to wrap up, to defray expenses
craie, n. f., chalk
craindre, v. f., to fear, to be afraid of
crainte, n. f., fear, apprehension
crasse, n. f., dirt, scum of metals
crayon, n. m., pencil
créditer, v. a., to credit, to trust
créer, v. a., to create, to invent, to establish
crème, n. f., cream
crème de tartre, cream of tartar
crête, n. f., crest, tuft
creuser, v. a., to dig, to excavate
creuset, n. m., crucible, melting pot, hearth
creu-x, se, adj., hollow
creux, n. m., hollow, cavity, pit
crever, v. a., to burst, to perish
cri, n. m., cry, scream, squeak
cribler, v. a., to sift
crier, v. n., to cry, to shout
crin, n. m., hair (of mane and tail of horse)
cristal, n. m., crystal
cristallin, -e, adj., crystalline
cristallisable, adj., crystallizable
 (acide acétique cristallisable, glacial acetic acid)
cristalliser, v. a., v. n., to crystallize
cristallisoir, n. m., crystallizing dish
critique, n. f., criticism, censure, critique
critique, adj., critical
critiquer, v. a., to criticize, to censure
crochet, n. m., hook
croire, v. a., to believe, to think
croiser, v. a., to cross, to lay across
se croiser, v. r., to intersect each other
croître, v. a., to grow, to increase

croix, n. f., cross
croûte, n. f., crust
croyable, adj., credible, believable, likely
cru, -e, adj., raw, crude
cuber, v. a., to cube
cubilot, n. m., converter
cueillir, v. a., to pick, to gather
cuillère, n. f., spoon
cuir, n. m., leather
cuire, v. a., to cook
cuivre, n. m., copper
cuivreux, adj., cuprous
cuivrique, adj., cupric
cultiver, v. a., to cultivate, to till
curseur, n. m., runner (of Wheatstone bridge)
cuve, n. f., tub, vat
cuvette, n. f., basin, cistern

D

dalle, n. f., glass plate
dalle rodée, ground glass plate
dans, prep., in, within, into
dard, n. m., tip of flame or blowpipe
davantage, adv., more, longer
de, prep., of, from, by, with, in, upon, out, of, any, for, at, to
débarrasser, v. a., to clear, to clear away, to rid
se débarrasser de, v. r., to rid one's self of, to extricate one's self from
débit, n. m., delivery
débit d'eau, flow of water
déborder, v. n., to overflow, to run over
débouché, n. m., opening, outlet, issue
déboucher, v. a., to open, to uncork
débout, adv., upright, on one end, standing
début, n. m., beginning, first appearance, outset
deçà, adv., on this side, here

- décanter, v. a.**, to decant
décaper, v. a., to flux, to cleanse surface of metal before soldering
décharge, n. f., discharge, release, unloading
décharger, v. a., to discharge, to unload, to release
déchet, n. m., waste, loss
déchirer, v. a., to tear
décidé, -e, adj., decided, determined
décidément, adv., decidedly, positively
décider, v. a., to decide, to determine, to settle
se décider à, v. r., to make up one's mind
décisi-f, -ve, adj., decisive, conclusive
déclancher, v. a., to release a spring to unlatch
déclarer, v. a., to declare, to make known
déclin, n. m., decline, close
décliner, v. a., to decline, to fall off
décolorer, v. a., to discolor, to take away the color
décomposer, v. a., to decompose
se décomposer, v. r., to decompose, to become decomposed
décortiquer, v. a., to decorticate, to strip off the bark
découper, v. a., to cut into pieces, to cut out, to carve
décourager, v. a., to discourage
se décourager, v. a., to be discouraged
découvert, -e, adj., uncovered, discovered
découverte, n. f., discovery
découvrir, v. a., to discover, to uncover
décuple, adj., tenfold
dédaigner, v. a., to disdain, to scorn
dédaignusement, adv., disdainfully, scornfully
dédaigneu-x, -se, adj., disdainful, scornful
dédain, n. m., disdain, scorn
dédale, n. m., labyrinth, maze
dédans, adv., within, in, inside
dédier, v. a., to dedicate
se dédire, v. r., to retract
dédommager, v. a., to idemnify, to compensate
dédoublement, n. m., breaking into two, hydrolysis
dédoubler, v. a., to break into two, to hydrolyze
se dédoubler, v. r., to break into parts
déduire, v. a., to deduce, to deduct
défaire, v. a., to undo
se défaire de, v. r., to get rid of, to do away with
défaite, n. f., defeat, overthrow
défaut, n. m., defect, fault, flaw, want (au défaut de, à défaut de, for want of)
défavorable, adj., unfavorable
défavorablement, adv., unfavorably
défecti-f, -ve, adj., defective
défendre, v. a., to defend, to shelter, to support
se défendre, v. r., to defend one's self
défense, n. f., defence, protection
défenseur, n. m., defender, supporter
dé fiance, n. f., distrust, mistrust
défier, v. a., to defy, to challenge, to dare
se défier de, v. r., to distrust, to mistrust
défigurer, v. a., to disfigure, to distort, to mar
défini, part., definite, defined
définir, v. a., to define, to decide
définissable, adj., definable
définiti-f, -ve, adj., definitive, positive
défléchir, v. a., to turn aside
déformer, v. a., to put out of form, to put out of shape
dégagement, n. m., formation, evolution

- (tube à dégagement, exit tube)
dégager, *v. a.*, to evolve, to generate, to disengage
dégât, *n. m.*, havoc, damage
dégel, *n. m.*, thaw
dégeler, *v. a.*, *v. n.*, to thaw
dégénérer, *v. n.*, to degenerate, to decline
dégraisser, *v. a.*, to scour, to remove greasy stains
degré, *n. m.*, degree, stage, point, extent
déguiser, *v. a.*, to disguise, to hide
dehors, *adv.*, out, without, out of doors, externally
déjà, *adv.*, already, yet
delà, *au delà de*, *en delà de*, *prep.*, further on
délai, *n. m.*, delay
délaisser, *v. a.*, to forsake, to abandon
délayant, *n. m.*, diluent
délayer, *v. a.*, to dilute
déléguer, *v. a.*, to delegate
délibérément, *adv.*, deliberately, boldly
délibérer, *v. a.*, to deliberate
délicat, *-e, adj.*, delicate, dainty, nice
délicatement, *adv.*, delicately, daintily
délicatesse, *n. f.*, delicacy, daintiness
délier, *v. a.*, to untie, to liberate
délimiter, *v. a.*, to settle the limits
délivrer, *v. a.*, to deliver, to set free
déloger, *v. a.*, to dislodge, to remove
demain, *adv.*, to-morrow
demande, *n. f.*, demand, question, request
demander, *v. a.*, to ask, to beg, to request
démasquer, *v. a.*, to unmask, to show up
démêler, *v. a.*, to disentangle, to separate, to unravel
démembrement, *n. m.*, dismemberment
démembrer, *v. a.*, to dismember, to disjoint
démentir, *v. a.*, to deny, to contradict
démesuré, *-e, adj.*, huge, excessive
démesurément, *adv.*, immoderately, excessively
demeure, *n. f.*, abode, home
demeurer, *v. n.*, to live, to reside, to remain
demi, *-e, adj.*, half
démolir, *v. a.*, to demolish, to pull down
démonter, *v. a.*, to dismount, to disconnect
démontrer, *v. a.*, to demonstrate, to prove
dénaturer, *v. a.*, to denature, to change
dénier, *v. a.*, to deny, to refuse
dénoncer, *v. a.*, to denounce
dénoter, *v. a.*, to describe, to denote
dent, *n. f.*, tooth, cog
denté, *-e, adj.*, with teeth or cogs (roue dentée, cog wheel)
dénué, *-e, adj.*, destitute, void
départ, *n. m.*, departure
dépasser, *v. a.*, to go beyond, to exceed, to surpass
dépêcher, *v. a.*, to hasten
se dépêcher, *v. r.*, to hasten
dépens, *n. m. plur.*, expense, cost
dépense, *n. f.*, expense, expenditure
dépilage, *n. m.*, taking off the fleece
dépilatoire, *adj.*, depilatory
déplier, *v. a.*, to unfold
déployer, *v. a.*, to unfold, to unroll
dépolarisant, *n. m.*, depolarizer
déposer, *v. a.*, to lay down, to deposit
dépôt, *n. m.*, deposit, sediment

- dépouiller, *v. a.*, to unclothe, to lay bare, to deprive
 dépouvu, -e, *adj.*, destitute, unprovided
 déprécier, *v. a.*, to depreciate, to undervalue
 depuis, *adv.*; *prep.*, since, from, after
 depuis que, *conj.*, since
 dérangé, -é, *adj.*, out of order, deranged
 déranger, *v. a.*, to put out of order, to displace, to incommode
 dérégler, *v. a.*, to put out of order
 dérivé, *n. m.*, derivative
 dériver, *v. n.*, to be derived, to proceed from
 derni-er, -ère, *adj.*, last
 dernièrement, *adv.*, lately
 dérober, *v. a.*, to rob, to hide, to screen
 se dérober, *v. r.*, to steal away, to escape, to avoid
 dérouler, *v. a.*, to unroll, to spread out, to display
 derrière, *prep.*, behind
 des, *art. plur.*, of the, from the, some
 dès, *prep.*, from, since
 dès que, *conj.*, when, as soon as, since
 désagréable, *adj.*, disagreeable, unpleasant
 désagréablement, *adv.*, disagreeably, unpleasantly
 désagrément, *n. m.*, disagreeableness, unpleasantness
 désaimanter, *v. a.*, to demagnetize
 désappointer, *v. a.*, to disappoint
 désarroi, *n. m.*, disorder, disarray
 désavantage, *n. m.*, disadvantage
 désavantageu-x, -se, *adj.*, disadvantageous
 désavouer, *v. a.*, to disown, to disclaim, to deny
 descendre, *v. a.*; *v. n.*, to go down, to step down, to take down
 descente, *n. f.*, descent, declivity, taking down
 désert, *v. a.*, to desert, to abandon
 désespéré, -e, *part.*, desperate, hopeless
 désespérément, *adv.*, desperately
 désespérer, *v. n.*, to despair, to give up all hope
 désespoir, *n. m.*, despair, hopelessness
 désigner, *v. a.*, to designate, to denote
 désinfection, *n. f.*, disinfection, fumigation
 désintéressé, -e, *adj.*, disinterested, unbiased
 désir, *n. m.*, desire, wish
 désirer, *v. a.*, to desire, to wish for
 désordonné, -e, *adj.*, disorderly, unruly
 désordre, *n. m.*, disorder, confusion
 désormais, *adv.*, henceforth, hereafter
 désoxyder, *v. a.*, to deoxydize
 desséché, -e, *part.*, dried up, desiccated
 dessécher, *v. a.*, to dry, to dry up, to drain
 dessein, *n. m.*, design, intention, intent
 desserrer, *v. a.*, to loosen, to slacken
 dessiccateur, *n. m.*, desiccator
 (dessiccateur à vide, vacuum desiccator)
 dessiccati-f, -ve, *adj.*, desiccative
 dessiner, *v. a.*, to draw, to sketch
 dessous, *adv.*, under, underneath
 dessous, *n. m.*, the lower part, the under side
 dessus, *adv.*, on, upon, over, uppermost
 dessus, *n. m.*, top, upper part, upper hand
 destiné, -e, *part.*, destined, born
 destinée, *n. f.*, destiny, fate
 destiner, *v. a.*, to intend, to destine
 destitué, -e, *adj.*, destitute, devoid

- destructeur, -rice, *adj.*, destructive, deadly
détacher, *v. a.*, to detach, to untie, to take out stains
détail, *n. m.*, detail, retail, particular
détendre, *v. a.*, to slacken, to unbend, to relax
détenu, -e, *part.*, detained, withheld
détériorer, *v. a.*, to deteriorate, to impair
déterminer, *v. a.*, to determine, to divert
détresse, *n. f.*, distress, sorrow
détriment, *n. m.*, injury, prejudice, detriment
détruire, *v. a.*, to destroy, to ruin
dette, *n. f.*, debt, obligation
deux, *adj.*, two, second
deuxième, *adj.*, second
deuxièmement, *adv.*, secondly
devancer, *v. a.*, to precede, to go before, to anticipate
devant, *prep.*; *adv.*, before, in front of
devant, *n. m.*, front, front part
développement, *n. m.*, development, unfolding
développer, *v. a.*, to develop, to open, to unwrap
devenir, *v. n.*, to become, to come to
dévier, *v. n.*, to deviate, to swerve
deviner, *v. a.*, to guess, to predict
devoir, *n. m.*, duty, task
devoir, *v. a.*, to owe, to be bound to, to be compelled, must
dévorer, *v. a.*, to devour, to eat up
dévouer, *v. a.*, to devote, to dedicate
dextrogyre, *adj.*, dextrorotatory
diamant, *n. m.*, diamond
diazotique, *adj.*, diazo
différencier, *v. a.*, to differentiate, to distinguish
difficile, *adj.*, difficult, hard
difficilement, *adv.*, with difficulty, not easily
difforme, *adj.*, misshapen, deformed
diffus, -e, *adj.*, diffuse
digérer, *v. a.*, to digest
digne, *adj.*, worthy, deserving
dignement, *adv.*, worthily, deservedly
dilate, *v. a.*, to dilate, to distend
diluer, *v. a.*, to dilute
diminuer, *v. a.*, to diminish, to lessen
dire, *v. a.*, to tell, to say
directement, *adv.*, directly
directeur, -rice, *adj.*, *n.*, director, manager
diriger, *v. a.*, to direct, to conduct, to manage
discerner, *v. a.*, to discern, to distinguish
discontinu, -e, *adj.*, discontinuous
discontinuer, *v. a.*, to discontinue
discutable, *adj.*, debatable, disputable
discuter, *v. a.*, to discuss, to debate
dispenser, *v. a.*, to dispense
se dispenser de, *v. r.*, to dispense with
dispos, *adj.*, active, nimble
disposer, *v. a.*, to dispose, to lay out
se disposer à, *v. r.*, to get ready, to prepare
dissimuler, *v. a.*, to conceal, to hide
dissiper, *v. a.*, to dissipate, to scatter
dissolvant, *n. m.*, solvent, dissolvent
dissoudre, *v. a.*, to dissolve
se dissoudre, *v. r.*, to be dissolved, to go in solution
dissous, -e, *adj.*, dissolved
distendre, *v. a.*, to distend, to stretch
distiller, *v. a.*, to distil
distinguer, *v. a.*, to discern, to distinguish
se distinguer, *v. r.*, to distinguish one's self, to be distinguished
distribuer, *v. a.*, to distribute, to lay out
diviser, *v. a.*, to divide, to portion out

dix, *adj.*, ten
 dix-huit, *adj.*, eighteen
 dix-huitième, *adj.*, eighteenth
 dixième, *adj.*, tenth
 dix-neuf, *adj.*, nineteen
 dix-neuvième, *adj.*, nineteenth
 dix-sept, *adj.*, seventeen
 dix-septième, *adj.*, seventeenth
 dizaine, *n. f.*, about ten
 doctorat, *n. m.*, doctor's degree
 doigt, *n. m.*, finger
 domaine, *n. m.*, domain, province
 dominer, *v. a.; v. n.*, to dominate, to rule, to predominate
 dommage, *n. m.*, damage, injury
 (c'est dommage, it is a pity)
 don, *n. m.*, gift, endowment
 donc, *conj.*, therefore, accordingly, then
 donnée, *n. f.*, data, notion, idea
 donner, *v. a.; v. n.*, to give, to yield
 (donner prise à, to give a footing, to give reason for)
 dont, *pron.*, whose, of which, of whom, for whom
 dormir, *v. n.*, to sleep, to be dormant
 dos, *n. m.*, back
 dosage, *n. m.*, determination
 dose, *n. f.*, quantity, portion
 doser, *v. a.*, to determine
 doter, *v. a.*, to endow
 doubler, *v. a.*, to double, to line
 doublure, *n. f.*, lining
 douceâtre, *adj.*, sweetish
 doucement, *adv.*, softly, gently
 douceur, *n. f.*, sweetness, mildness
 douleur, *n. f.*, pain, soreness, sorrow
 doute, *n. m.*, doubt, distrust
 douter, *v. a.*, to doubt, to suspect
 douteux, -se, *adj.*, doubtful, questionable
 dou-x, -ce, *adj.*, sweet, mild, fresh
 douzaine, *n. f.*, dozen
 douze, *adj.*, twelve

douzième, *adj.*, twelfth
 doyen, *n. m.*, dean, oldest member
 drainer, *v. a.*, to drain
 dresser, *v. a.*, to erect, to set up
 droit, -e, *adj.*, straight, right, direct
 droit, *n. m.*, right, custom, duty
 droite, *n. f.*, right hand, right
 du, *art.* (condensation of *de le*), of the, from the, by the, some, any
 dû, *m.*, due, *f.*, *part.*, due, owed
 dur, -e, *adj.*, hard, tough
 durcir, *v. a.*, to harden
 durcissement, *n. m.*, hardening
 durée, *n. f.*, duration, continuance
 durer, *v. a.*, to last, to continue
 dureté, *n. f.*, hardness, toughness

E

eau, *n. f.*, water
 eau-mère, *n. f.*, mother liquor
 eau oxygénée, *n. f.*, hydrogen peroxide
 éblouir, *v. a.*, to dazzle, to fascinate
 éblouissant, -e, *adj.*, dazzling
 écart, *n. m.*, error, digression
 écarter, *v. a.*, to set aside, to remove
 échanger, *v. a.*, to exchange, to interchange
 échantillon, *n. m.*, sample, specimen
 échantillonner, *v. a.*, to sample
 échapper, *v. a.*, to escape, to avoid
 s'échapper, *v. r.*, to get away, to escape
 échauffer, *v. a.*, to warm, to overheat
 échelle, *n. f.*, scale, ladder
 écheveau, *n. m.*, skein, hank
 éclaircir, *v. a.*, to clarify, to clear, to elucidate
 éclaircissement, *n. m.*, clearing up, explanation
 éclairer, *v. a.*, to light, to enlighten, to throw light on
 éclat, *n. m.*, splinter, luster, brightness

- éclatant, -e, *adj.*, bright, sparkling, dazzling
 éclater, *v. a.*, to split, to burst
 école, *n. f.*, school
 économiser, *v. a.*, to economize, to save
 écorce, *n. f.*, bark, rind
 écoulement, *n. m.*, flowing, discharge (jaugeage par écoulement, graduation for delivery)
 s'écouler, *v. r.*, to flow away, to pass away
 écouter, *v. a.*, to listen, to pay attention to
 écran, *n. m.*, screen
 écraser, *v. a.*, to crush, to bruise, to overwhelm
 écrémer, *v. a.*, to take off the cream, to skim
 écrire, *v. a.*, to write, to spell
 écriture, *n. f.*, writing
 écrou, *n. m.*, nut of a screw
 écroulement, *n. m.*, falling in, falling down
 écru, -e, *adj.*, unbleached
 écume, *n. f.*, foam, froth, scum, dross
 écumer, *v. a.*, to skim, to froth, to foam
 effacer, *v. a.*, to efface, to blot out, to obliterate
 effectivement, *adv.*, in effect, really
 effectuer, *v. a.*, to accomplish, to work out
 s'effectuer, *v. r.*, to be accomplished
 effet, *n. m.*, effect, purpose
 efficace, *adj.*, efficacious
 effilé, -e, *adj.*, slender, drawn out (tube effilé, drawn out tube)
 effleurir, *v. n.*, to effloresce
 s'efforcer, *v. r.*, to strive, to endeavor
 effort, *n. m.*, effort, endeavor
 effrayant, -e, *adj.*, frightful, dreadful
 égal, -e, *adj.*, equal
 également, *adv.*, equally
 égaler, *v. a.*, to equal, to make even
 égaliser, *v. a.*, to equalize, to make level
 égard, *n. m.*, regard, consideration, respect
 (à l'égard de, with respect to)
 égarer, *v. a.*, to mislead, to mislay
 s'égarer, *v. r.*, to lose one's way, to go astray
 égout, *n. m.*, sewer, drain
 égratigner, *v. a.*, to scratch
 élan, *n. m.*, start, burst
 s'élaner, *v. r.*, to bound, to rush
 élargir, *v. a.*, to widen, to stretch
 élargissement, *n. m.*, widening
 élastique, *adj.*, elastic
 électrique, *adj.*, electric
 électro-aimant, *n. m.*, electro-magnet
 élémentaire, *adj.*, elementary
 élévation, *n. f.*, elevation, raising
 élève, *n. m.*, pupil, student
 élever, *v. a.*, to raise, to lift, to increase
 s'élever, *v. r.*, to arise, to run up, to amount
 éliminer, *v. a.*, to eliminate, to expel
 elle, elles, *pron. f.*, she, they
 éloigné, -e, *adj.*, distant, remote
 éloigner, *v. a.*, to remove, to dismiss
 s'éloigner, *v. r.*, to go away, to withdraw
 élucider, *v. a.*, to elucidate
 émail, *n. m.*, enamel
 embarras, *n. m.*, hinderance, impediment
 embarrasser, *v. a.*, to embarrass, to obstruct, to puzzle
 emboîter, *v. a.*, to joint, to fit in
 embranchement, *n. m.*, branching off
 embrasser, *v. a.*, to embrace, to comprise, to include
 embrouiller, *v. a.*, to confuse, to obscure
 émerger, *v. a.*, to emerge

- émeri**, *n. m.*, emery
émettre, *v. a.*, to emit, to give out, to put in circulation
emmener, *v. a.*, to take away, to carry away
empaqueter, *v. a.*, to pack up
s'emparer, *v. a.*, to take possession of, to seize
empêchement, *n. m.*, obstacle, obstruction
empêcher, *v. a.*, to oppose, to prevent
s'empêcher, *v. r.*, to oppose, to prevent
emplir, *v. a.*, to fill
emplissage, *n. m.*, filling
 (jaugeage par emplissage, graduation for contents)
emploi, *n. m.*, employment, place, use
employer, *v. a.*, to use
empois, *n. m.*, paste
 (empois d'amidon, starch paste)
empoisonner, *v. a.*, to poison
emporter, *v. a.*, to carry away, to remove
empreinte, *n. f.*, print, mark, stamp
empressement, *n. m.*, eagerness
s'empresser, *v. r.*, to be eager, to hasten
emprunt, *n. m.*, loan
emprunter, *v. a.*, to borrow
en, *prep.*, in, into, within, out of, by, in the form of
en, *pron.*, of him, of her, of it, of them, from him, from her, from it, from them, by, about him, her, it or them
encastrer, *v. a.*, to fit in
enceinte, *n. f.*, circuit, enclosure
enchaînement, *n. m.*, linking
enchaîner, *v. a.*, to chain up, to link
s'enchevêtrer, *v. r.*, to get tangled
encore, *adv.*, yet, still, again, once more, further, besides, moreover, however
encore, *conj.*, even, yet
encourager, *v. a.*, to encourage, to stimulate
encourir, *v. a.*, to incur
encre, *n. f.*, ink
endormi, *-e, adj.*, asleep, sleeping, sluggish
endroit, *n. m.*, place, point
enduire, *v. a.*, to coat
enduit, *n. m.*, coating
endurci, *-e, adj.*, hardened
endurcir, *v. a.*, to harden
endurcissement, *n. m.*, hardening, hardness
endurer, *v. a.*, to endure, to bear
énergie, *n. f.*, energy, force
énergique, *adj.*, energetic
énergiquement, *adv.*, energetically
enfance, *n. f.*, infancy
enfant, *n. m.*, child
enfermer, *v. a.*, to shut in, to enclose
enfin, *adv.*, at last, after all, finally
enfler, *v. a.*, to swell out
enfoncer, *v. a.*, to sink, to drive in
engager, *v. a.*, to engage, to induce, to compel
engendrer, *v. a.*, to generate, to breed, to give rise to
engrais, *n. m.*, manure, fertilizer
engraissement, *n. m.*, fattening
engraisser, *v. a.*, to fatten
engrenage, *n. m.*, gear
enlèvement, *n. m.*, carrying off, removal
enlever, *v. a.*, to lift, to carry off, to remove
ennemi, *n. m.*, enemy, foe
ennuyant, *-e, adj.*, annoying, irksome
ennuyer, *v. a.*, to annoy, to bother
ennuyeux, *-se, adj.*, tiresome, annoying
énoncé, *n. m.*, statement
énoncer, *v. a.*, to state
énorme, *adj.*, enormous
énormément, *adv.*, enormously

- s'enquérir, v. r.*, to enquire
enregistrer, v. a., to register, to enroll
enrichir, v. a., to enrich
enseignement, n. m., teaching
enseigner, v. a., to teach
ensemble, adv., together, at the same time
ensemble, n. m., whole
ensemencement, n. m., sowing, seed-
 ing
ensemencer, v. a., to sow, to seed
ensuite, adv., after, afterwards, then
s'ensuivre, v. r., to follow
entacher d'erreurs, v. a., to vitiate
entasser, v. a., to heap up, to accumu-
 late, to huddle
entendre, v. a., to hear, to understand,
 to mean
entendre dire, v. a., to hear say
s'entendre à, v. r., to be skilful in, to
 be a judge of
enterrer, v. a., to bury
entier, entière, adj., entire, whole
entonnoir, n. m., funnel
entonnoir à filtration chaude, hot
water funnel
entonnoir en porcelaine, porcelain
funnel
entonnoir à robinet, dropping funnel
entourer, v. a., to surround, to enclose
entrain, n. m., spirit, animation
entrain de, in the act of
entraînement, n. m., impulse, enthu-
 siasm
entraînement à la vapeur, steam dis-
tillation
entraîner, v. a., to carry away, to in-
 volve, to train
entrave, n. f., obstacle, impediment
entraver, v. a., to hinder, to impede
entre, prep., between, among, in
entrée, n. f., entry, mouth, coming in,
 entrance
entremise, n. f., intervention, medium
entreprendre, v. a., to undertake, to
 attempt
entreprise, n. f., enterprise, undertak-
 ing, concern
entrer, v. a.; v. n., to enter, to come
 in, to get in
entretenir, v. a., to entertain, to keep
 up
entretien, n. m., maintenance, talk
entrevoir, v. a., to foresee, to have a
 glimpse of
énumérer, v. a., to enumerate
envahir, v. a., to invade
enveloppe, n. f., cover, coat, envelope
envelopper, v. a., to wrap up, to sur-
 round
envers, prep., towards, to
envers, n. m., wrong side
envie, n. f., envy, wish, longing
 (avoir envie de, to feel like)
envier, v. a., to envy, to long for
environ, adv., about, thereabouts
environs, n. m., plur., vicinity
envisager, v. a., to stare in the face,
 to consider
envoi, n. m., sending, parcel
envoyer, v. a., to send
épais, -se, adj., thick
épaisseur, n. f., thickness
épaissir, v. a.; v. n., to thicken
épargner, v. a., to save, to spare
épars, -e, adj., scattered
épaule, n. f., shoulder
épice, n. f., spice
épingle, n. f., pin
épingler, v. a., to pin
éponge, n. f., sponge
éponge de platine, platinum sponge
époque, n. f., period, time
épouvantable, adj., dreadful
épreuve, n. f., proof, test, trial
éprouver, v. a., to feel, to try
éprouvette, n. f., liquor gauge

- éprouvette à dessécher les gaz*, drying bottle
éprouvette graduée, graduated cylinder
épuisé, -e, adj., drained, worn out, exhausted
épuisement, n. m., draining, exhaustion
épuiser, v. a., to exhaust, to drain
épuration, n. f., purification, refining
épuratoire, adj., purifying
épurer, v. a., to purify
équilibre, n. m., equilibrium
équibrer, v. a., to poise, to place in equilibrium
équipement, n. m., equipment
équiper, v. a., to fit out
s'équiper, v. r., to equip one's self
érable, n. m., maple-tree
ériger, v. a., to erect
errer, v. a.; v. n., to wander, to be mistaken
erreur, n. f., error, mistake
espace, n. m., space
espacer, v. a., to space
espèce, n. f., species, kind
espérance, n. f., hope
espérer, v. a., to hope, to expect
espoir, n. m., hope
esprit, n. m., spirit, soul, mind, meaning
esquisse, n. f., outline
esquisser, v. a., to outline
esquiver, v. a., to evade, to avoid
s'esquiver, v. r., to escape
essai, n. m., trial, assaying, analysis (prise d'essai, sample for analysis)
essayer, v. a., to try, to assay
essayé, adj., analyzed, essayed
essence, n. f., essence, substance
essence d'amandes amères, essence or oil of bitter almonds
essence de moutarde, mustard oil
essence de térébenthine, turpentine oil
essentiel, -le, adj., essential
essorer, v. a., to dry in the air
essuie-main, n. m., towel
essuyer, v. a., to wipe
est, n. m., east
estime, n. f., esteem, estimation
estimer, v. a., to value, to rate, to esteem, to regard
s'estimer, v. r., to consider one's self
estomac, n. m., stomach
et, conj., and
établir, v. a., to establish, to prove
s'établir, v. r., to establish one's self, to settle
établissement, n. m., establishment, setting up, business house
étage, n. m., story, floor, layer
étain, n. m., tin
étain en grenaille, granulated tin
étaler, v. a., to spread out, to display
étalon, n. m., standard (pile étalon, standard cell)
étanche, adj., water and air tight
étanchéité, n. f., tightness
état, n. m., state, profession
éteindre, v. a., to extinguish, to put out
s'éteindre, v. r., to be extinguished, to go out
éteint, -e, adj., extinguished, extinct
étendre, v. a., to spread, to extend
s'étendre, v. r., to stretch one's self, to extend
étendu, -e, part., stretched, extended, dilute, diluted
étendue, n. f., extent, expanse
éther, n. m., ether
éther-sel, n. m., ethereal salt, ester
éthéré, -e, adj., ethereal
étincelant, -e, adj., sparkling
étinceler, v. a., to sparkle
étincelle, n. f., spark
étiquette, n. f., label
étirer, v. a., to stretch, to draw out

étouffe, *n. f.*, stuff, cloth
étoile, *n. f.*, star
étonnement, *n. m.*, astonishment
étonner, *v. a.*, to astonish
étouffer, *v. a.*, to suffocate, to smother
étoupe, *n. f.*, oakum
étrange, *adj.*, strange
étranger, *étrangère*, *n.*, foreigner
étrang-er, *-ère*, *adj.*, strange, foreign
étranglement, *n. m.*, strangling, narrowing
étrangler, *v. a.*, to strangle, to narrow
être, *v. n.*, to be
être, *n. m.*, being
étrécir, *v. a.*, to narrow
étréindre, *v. a.*, to tie, to press
étrier, *n. m.*, stirrup (of balance)
étroit, *-e*, *adj.*, narrow, intimate
étroitement, *adv.*, narrowly, closely
étude, *n. f.*, study
étudiant, *n. m.*, student
étudier, *v. a.*, to study
étui, *n. m.*, case, sheath
étuve, *n. f.*, drying-oven
étuve à air chaud, hot air oven
 (sécher à l'étuve, to dry in the oven)
eux, *pron.*, *m. plur.*, they, them
eux-mêmes, themselves
évacuer, *v. a.*, to evacuate
s'évader, *v. r.*, to escape
évaporer, *v. a.*, to evaporate
évasé, *adj.*, widened
évaser, *v. a.*, to widen
éveiller, *v. a.*, to awake, to awaken
événement, *n. m.*, event, occurrence
éviter, *v. a.*, to avoid
évoquer, *v. a.*, to evoke, to call to mind
exactement, *adv.*, exactly
exactitude, *n. f.*, accuracy, precision
exalter, *v. a.*, to exalt, to extol
examen, *n. m.*, examination
examiner, *v. a.*, to examine

excédent, *n. m.*, surplus, excess
excéder, *v. a.*, to exceed
exceller, *v. n.*, to excel
excès, *n. m.*, excess
exciter, *v. a.*, to excite, to provoke, to irritate
exécuter, *v. a.*, to execute, to perform
s'exécuter, *v. r.*, to be performed
exemple, *n. m.*, example, copy
exercer, *v. a.*, to exercise, to practise
exhaler, *v. a.*, to exhale, to emit
exhiber, *v. a.*, to exhibit, to show
exiger, *v. a.*, to exact, to demand
exister, *v. a.*, to exist, to live
expérimenter, *v. a.*, to experiment
expirer, *v. a.*, to expire
expliquer, *v. a.*, to explain
exposé, *n. m.*, statement, outline
exposer, *v. a.*, to expose, to state, to explain
s'exposer à, *v. r.*, to expose one's self, to be liable
exprès, *adv.*, expressly
exprimer, *v. a.*, to express
expulser, *v. a.*, to expel
exsiccateur, *n. m.*, desiccator
extérieur, *n. m.*, exterior, outside
extrait, *n. m.*, extract, abstract

F

fabrication, *n. f.*, manufacture
fabriquer, *v. a.*, to manufacture
fabriqué, *-e*, *adj.*, manufactured
face, *n. f.*, front, aspect, surface
 (en face de, opposite)
facette, *n. f.*, facet
fâcheu-x, *-se*, *adj.*, grievous, vexatious
facile, *adj.*, easy
facilement, *adv.*, easily, readily
facilité, *n. f.*, ease, fluency
faciliter, *v. a.*, to facilitate, to make easy
façon, *n. f.*, way, manner, fashion, workmanship

- (à la façon de, after the manner of;
de cette façon, in this way; de
façon que, so that, in such a way
as)
- factice**, *adj.*, factitious, artificial
facture, *n. f.*, invoice, bill
facultati-f, *-ve, adj.*, optional
faculté, *n. f.*, faculty, ability, power,
quality, college
fade, *adj.*, insipid, tasteless
fadement, *adv.*, insipidly
fadeur, *n. f.*, insipidity
faible, *adj.*, weak, feeble, faint, de-
ficient
faible, *n. m.*, weakness
faiblement, *adv.*, weakly, faintly
faiblesse, *n. f.*, weakness, deficiency,
defect
faiblir, *v. n.*, to relax, to become
weak, to slacken
faïence, *n. f.*, crockery-ware
faillir, *v. n.*, to err, to fail, to be on
the point of
faim, *n. f.*, hunger
(avoir faim, to be hungry)
faire, *v. a.; v. n.*, to make, to do, to
perform, to take (a ride or a
walk)
faire bien, to do well, to do right
faire du mal, to inflict injuries
faire faire, to have done
faire (with expressions of weather),
to be
faire le vide, to evacuate
se faire, *v. r.*, to take place, to be
used to
faisable, *adj.*, feasible, practicable
faïceau, *n. m.*, bundle, sheaf
fait, *n. m.*, fact, act, point
fait, *-e, part.*, made, done, qualified,
(tout fait, ready made)
fallacieu-x, *-se, adj.*, fallacious
falloir, *v. imp.*, must, should, ought,
to be necessary, to need
s'en falloir, *v. r.*, to be wanting, to be
on the point
falsifié, *-e, adj.*, adulterated
falsifier, *v. a.*, to adulterate
fameu-x, *-se, adj.*, famous, renowned
familiariser, *v. a.*, to accustom to
se familiariser, *v. a.*, to familiarize
one's self, to accustom one's self
to
famili-er, *-ère, adj.*, familiar, intimate
familièrement, *adv.*, familiarly
famille, *n. f.*, family
fantaisie, *n. f.*, imagination, whim
fantasque, *adj.*, fantastic, fanciful
fardeau, *n. m.*, burden, load, weight
farine, *n. f.*, flour
fascicule, *n. m.*, small bundle (of
plants, small pamphlet)
fatal, *-e, adj.*, fatal
fatalement, *adv.*, fatally
fatigant, *-e, adj.*, tiresome, irksome
fatigue, *n. f.*, fatigue, toil, hardship
fatigué, *-e, adj.*, fatigued, tired
fatiguer, *v. a.*, to tire, to overwork
se fatiguer, *v. r.*, to tire one's self
faussetment, *adv.*, falsely, erroneously
faussé, *-e, adj.*, inaccurate, vitiated
fausser, *v. a.*, to violate, to falsify, to
warp
fausset, *n. m.*, spigot
faussete, *n. f.*, falseness, insincerity
faute, *n. f.*, fault, mistake, error,
want
(à faute de, in default of; sans
faute, without fail)
fau-x, *-sse, adj.*, false, erroneous
faveur, *n. f.*, favor, vogue
favorable, *adj.*, favorable, propitious
favorablement, *adv.*, favorably
favoriser, *v. a.*, to favor, to assist
fécond, *-e, adj.*, prolific, fertile, fruit-
ful
fécule, *n. f.*, potato starch
feindre, *v. a.*, to feign, to pretend

- fendre, v. a.*, to split, to cleave
fenêtre, n. f., window, aperture
fente, n. f., slit, gap, rent
fer, n. m., iron
fer-blanc, n. m., tinned iron
fermant, -e, adj., closing
ferme, adj., firm, steady, resolute
fermer, v. a., to close, to shut
se fermer, v. r., to shut, to be enclosed
fermeté, n. f., firmness, stability
fermeture, n. f., closing, shutting
ferrer, v. a., to bind with iron
ferricyanure, ferricyanide
ferrocyanure, ferrocyanide
ferrugineu-x, -se, adj., ferruginous
fertilisant, -e, adj., fertilizing
fertiliser, v. a., to fertilize, to manure
fertilité, n. f., fertility
fétide, adj., sickening
feu, n. m., fire, fire-place
feu nu, free flame
feuille, n. f., leaf, sheet
feutre, n. m., felt
feutrer, v. a., to felt
février, n. m., February
fibreu-x, -se, adj., fibrous, stringy
ficelle, n. f., twine, string
fidèle, adj., faithful, loyal
fidèlement, adv., faithfully
fidélité, n. f., faithfulness, loyalty
se fier, v. r., to trust to, to rely upon
fi-er, -ère, adj., proud
fièrement, adv., proudly
fierté, n. f., pride
fièvre, n. f., fever
fiévreu-x, -se, adj., feverish, restless
figer, v. a., *se figer, v. r.*, to congeal, to coagulate
figure, n. f., figure, form, shape
figurer, v. a., to figure
se figurer, v. r., to imagine
fil, n. m., thread
fil de fer, n. m., iron wire
filamenteu-x, -se, adj., stringy
filandreu-x, -se, adj., stringy
filature, n. f., spinning, spinning-mill
file, n. f., row, rank, file
fileté, adj., threaded
filtrage, n. m., filtering, straining
filtre, n. m., filter
filtre à plis, n. m., folded filter
filtrer, v. a., to filter, to percolate
filtrer dans le vide, to filter by suction
fin, n. f., end, conclusion
fin, -e, adj., fine, thin, delicate
finalemeut, adv., finally
finement, adv., artfully, shrewdly
 finesse, n. f., delicacy, ingenuity, shrewdness
fini, -e, adj., finished, complete
finir, v. a.; v. n., to finish, to complete, to be over
fiolle, n. f., bottle, flask
fiolle conique pour filtrer, filter flask
fixe, adj., fixed, stationary, regular
fixer, v. a., to fix, to fasten, to determine
fixité, n. f., stability
flacon, n. m., bottle
flacon compte-gouttes, dropping bottle
flacon de Wolf, Wolf bottle
flacon laveur, wash bottle
flamber, v. a., to singe, to fire
flamme, n. f., flame, fire
flamme éclairante, luminous flame
flamme nue, free flame
flèche, n. f., arrow, spire
fléchir, v. a., to bend, to yield, to give way
fleur, n. f., flower, bloom
fleurir, v. n., to flower, to bloom
flotter, v. n., to float
flotteur, n. m., water-gauze, float
fluor, n. m., fluorine
fluté, -e, adj., fluted
foi, n. f., faith, belief
foie, n. m., liver

- fois**, *n. f.*, time
foisonner, *v. n.*, to abound
fonctionnel, *-le, adj.*, working, characteristic
fonctionnement, *n. m.*, working, operating
fonctionner, *v. n.*, to work, to act
fond, *n. m.*, bottom, foundation, back-ground
fondant, *-e, adj.*, melting
fondant, *n. m.*, flux
fondat-eur, *-rice, n.*, founder
fondation, *n. f.*, foundation, endowment
fondement, *n. m.*, foundation, basis
fonder, *v. a.*, to lay the foundation, to build, to endow
fondre, *v. a.*; *v. n.*, to melt, to dissolve
se fondre, *v. r.*, to dissolve, to blend
fonda, *n. m.*, ground, capital, ready money
fente, *n. f.*, melting, cast iron, smelting
force, *n. f.*, strength, energy, power
forcément, *adv.*, forcibly, by force, necessarily
forcer, *v. a.*, to force, to break open, to break through
forme, *n. f.*, form, shape, make, mould, frame
formène, *n. m.*, methane
former, *v. a.*, to form, to frame, to fashion, to mould
se former, *v. r.*, to be formed, to assume a shape
formule, *n. f.*, formula
formule brute, empirical formula
formule de constitution, constitutional or structural formula
fort, *-e, adj.*, strong, powerful, skilful
fort, *adv.*, very, very much, extremely
fortement, *adv.*, strongly, much
fortifier, *v. a.*, to fortify, to strengthen
fosse, *n. f.*, hole, pit, trench
fouetter, *v. a.*, to whip
fouiller, *v. a.*, to search, to excavate
foule, *n. f.*, crowd, multitude
four, *n. m.*, oven, kiln
fourché, *-e, adj.*, forked
fourchette, *n. f.*, fork
fourchu, *-e, adj.*, forked
fourneau, *n. m.*, stove, furnace
fourneau à incinération, muffle furnace
 (haut fourneau, blast furnace)
fournir, *v. a.*, to furnish, to provide, to stock
fourniture, *n. f.*, furnishing, supply
fourrage, *n. m.*, fodder
foyer, *n. m.*, fire-grate, focus of a lens
fractionné, *-e, adj.*, fractional
 (distillation fractionnée, fractional distillation)
fragile, *adj.*, fragile, brittle
fra-is, *-iche, adj.*, cool, recent
fraie, *n. m., plur.*, expenses, charges
franc, *-he, adj.*, frank, free
franchement, *adv.*, frankly, openly
franchir, *v. a.*, to cross, to pass over, to surmount
franco, *adv.*, free of charge
frapper, *v. a.*, to strike
fraude, *n. f.*, fraud
frauder, *v. a.*, to defraud
se frayer, *v. r.*, to open a way
frein, *n. m.*, brake, check, curb
fréquemment, *adv.*, frequently
fréquence, *n. f.*, frequency
fréquenter, *v. a., v. n.*, to frequent, to keep company with
frère, *n. m.*, brother
froid, *n. m.*, cold
froid, *-e, adj.*, cold, indifferent
froidement, *adv.*, coldly

fromage, *n. m.*, cheese
 fromagerie, *n. f.*, cheese-dairy
 froment, *n. m.*, wheat
 front, *n. m.*, forehead, front, face
 frottement, *n. m.*, rubbing, friction
 froter, *v. a.*, to rub
 fructueux, -se, *adj.*, fruitful, profitable
 fruit, *n. m.*, fruit
 fruité, -e, *adj.*, fruity, of fruit
 frustrer, *v. a.*, to frustrate, to baffle
 fugace, *adj.*, fugitive, transient
 fugitif, -ve, *adj.*, fugitive, transient
 fuir, *v. a.*, *v. n.*, to flee, to avoid, to leak
 fuite, *n. f.*, flight, leakage
 fuligineux, -se, *adj.*, smoky, sooty
 fumée, *n. f.*, smoke, fume
 fumer, *v. n.*, to smoke, to manure
 fumier, *n. m.*, manure
 fur (au fur et à mesure, in proportion, as)
 fureur, *n. f.*, fury, passion
 fusion, *n. f.*, fusion, melting, blending
 fusion à la soufflerie, sealing with the blast
 fuyant, -e, *adj.*, fleeing, fading

G

gagner, *v. a.*, to gain, to earn, to win
 gaïac, *n. m.*, guaiacum
 gain, *n. m.*, gain, profit
 gaine, *n. f.*, sheath, case
 galène, *n. f.*, galena
 galle, *n. f.*, gall
 (noix de galle, gall-nut)
 gallique, *adj.*, gallic
 galvanique, *adj.*, galvanic
 gamme, *n. f.*, scale, gamut
 garance, *n. f.*, madder-root
 garantie, *n. f.*, guaranty, voucher
 garantir, *v. a.*, to guarantee, to warrant, to ensure
 se garantir, *v. r.*, to protect one's self

garde, *n. f.*, keeping, guard, watch
 garder, *v. a.*, to keep, to preserve
 se garder de, *v. r.*, to take care not to
 garnir, *v. a.*, to furnish, to provide
 garniture, *n. f.*, furniture, lining
 gâté, -e, *adj.*, spoiled, damaged
 gâteau, *n. m.*, cake
 gâter, *v. a.*, to spoil, to damage
 gauche, *n. f.*, left-hand
 gauche, *adj.*, left, awkward
 gauchement, *adv.*, awkwardly
 gaz, *n. m.*, gas
 gaz d'éclairage, illuminating gas
 gaz des marais, marsh gas
 gaze, *n. f.*, gauze
 gaséifiable, *adj.*, which can be volatilized
 gélatineux, -se, *adj.*, gelatinous
 se gélatinifier, *v. r.*, to gelatinate
 gelé, -e, *adj.*, frozen
 gelée, *n. f.*, frost
 geler, *v. a.*, *v. n.*, to freeze
 gemme, *adj.*, (sel gemme, rock salt)
 gênant, -e, *adj.*, troublesome
 gêne, *n. f.*, constraint, trouble, uneasiness
 gêné, -e, *adj.*, constrained, uneasy
 gêner, *v. a.*, to impede, to obstruct, to annoy
 se gêner, *v. r.*, to put one's self to inconvenience
 généralement, *adv.*, generally
 générat-eur, -rice, *n.*, generator
 généreusement, *adv.*, generously
 généreux, -se, *adj.*, generous
 générique, *adj.*, generic
 génie, *n. m.*, genius
 genou, *n. m.*, knee
 genre, *n. m.*, genus, kind, manner
 germe, *n. m.*, germe, bud
 germer, *v. n.*, to sprout, to spring up
 girofle, *n. m.*, clove
 gisant, -e, *adj.*, lying
 gisement, *n. m.*, layer, bed, deposit

- glace**, *n. f.*, ice, mirror
glacé, *-e, adj.*, frozen
glacer, *v. a.*, to freeze, to chill
glacial, *-e, adj.*, icy, frigid, glacial
glacière, *n. f.*, ice-house, ice-box
glaise, *adj.*, loamy, clayey
glande, *n. f.*, gland
glissant, *-e, adj.*, slippery
glisser, *v. n.*, to slip, to slide
gluant, *-e, adj.*, sticky
gomme, *n. f.*, gum
gond, *n. m.*, hinge
gonfler, *v. a.*, to swell, to inflate
gorge, *n. f.*, throat, mouth, orifice
goudron, *n. m.*, tar
goudron de houille, coal tar
goudronneux, *-se, adj.*, tarry
goulot, *n. m.*, neck of a bottle or flask
goupillon, *n. m.*, brush for test tubes
 or flasks
goût, *n. m.*, taste
goûter, *v. a.*, to taste
goutte, *n. f.*, drop
gouvernable, *adj.*, governable
gouverner, *v. a.*, to govern, to rule
grâce, *n. f.*, grace, favor
grade, *n. m.*, grade, rank, degree
gradué, *-e, adj.* graduated
graduel, *-le, adj.*, gradual
graduellement, *adv.*, gradually
graduer, *v. a.*, to graduate, to cali-
 brate
grain, *n. m.*, grain, particle
graine, *n. f.*, seed
graissage, *n. m.*, greasing, lubricating
graisse, *n. f.*, fat, grease
graisser, *v. a.*, to grease, to lubricate
grasseux, *-se, adj.*, greasy, fatty
grand, *-e, adj.*, great, tall, large
 (en grand, on a large scale)
grandement, *adv.*, greatly, vastly,
 very much
grandeur, *n. f.*, size, height, greatness
grandir, *v. n.*, to grow, to increase
granuleux, *-se, adj.*, granular, granu-
 lated
graphique, *adj.*, graphic
grappe, *n. f.*, cluster
gras, *-se, adj.*, fat, oily, fatty
 (série grasse, fatty series)
gras, *n. m.*, fat
grassement, *adv.*, plentifully
gratifier, *v. a.*, to gratify
gratia, *adv.*, free of charge
gratter, *v. a.*, to scratch, to scrape
gratuitement, *adv.*, free, for nothing
grave, *adj.*, grave, serious, sedate
gravé, *-e, adj.*, engraved
gravement, *adv.*, gravely
graver, *v. a.*, to engrave, to impress
gravier, *n. m.*, gravel
gravité, *n. f.*, gravity, importance
gravure, *n. f.*, engraving, print
gré, *n. m.*, will, wish, liking
 (bon gré, mal gré, whether one will
 or not)
grec, *-que, adj.*, greek
greffe, *n. f.*, graft
greffer, *v. a.*, to graft
grêle, *adj.*, slender
grenaille, *n. f.*, granulated metal
grener, *v. a.*, to granulate
grenu, *-e, adj.*, granulous
grès, *n. m.*, sandstone, stoneware
griffe, *n. f.*, claw, clamp
grillage, *n. f.*, roasting
grille, *n. f.* grate, grating
griller, *v. a.*, to roast
grimper, *v. n.*, to climb
gris, *-e, adj.*, grey
gros, *-se, adj.*, big, large, great
gros, *n. m.*, bulk, mass
grosse, *n. f.*, gross
grossi-er, *-ère, adj.*, coarse, rough
grossièrement, *adv.*, coarsely
grossir, *v. a., v. n.*, to make bigger, to
 enlarge, to swell, to grow bigger
grossissant, *-e, adj.*, magnifying

groupe, *n. m.*, group, cluster
groupement, *n. m.*, group
groupement fonctionnel, characteristic group
grouper, *v. a.*, to group
grumeau, *n. m.*, clot, lump
grumelen-x, -se, *adj.*, clotted
guère, *adv.*, not much, but little, hardly
guérir, *v. a.*, to heal, to cure
guérison, *n. f.*, recovery, cure
guide, *n. m.*, guide, guide-book
guider, *v. a.*, to guide, to direct
guise, *n. f.*, manner, way
 (en guise de, by way of)

H

habile, *adj.*, able, clever, skilful
habilement, *adv.*, cleverly, skilfully, ably
habileté, *n. f.*, ability, skill
habiller, *v. a.*, to dress, to wrap up
habiter, *v. a.*, to dwell in, to inhabit, to frequent
habitude, *n. f.*, habit, custom
habitué, -e, *part.*, accustomed, used
habituel, -le, *adj.*, habitual, usual
habituellement, *adv.*, usually
habituer, *v. a.*, to accustom
s'habituer à, *v. r.*, to accustom one's self to
hacher, *v. a.*, to chop, to cut to pieces
hardi, -e, *adj.*, bold, intrepid
hardiesse, *n. f.*, boldness, audacity
hardiment, *adv.*, boldly, daringly
haricot, *n. m.*, kidney-bean
harmonie, *n. f.*, harmony, keeping
harmonieu-x, -se, *adj.*, harmonious
harnacher, *v. a.*, to harness
hasard, *n. m.*, chance, risk
 (au hasard, at random)
 (par hasard, by chance)
hasarder, *v. a.*, to risk, to venture
se hasarder, *v. r.*, to venture

hasardeu-x, -se, *adj.*, hazardous, risky, unsafe
hâte, *n. f.*, haste, hurry
hâter, *v. a.*, to hasten, to force
se hâter, *v. r.*, to hasten, to hurry
hausse, *n. f.*, rise, advance
hausser, *v. a.*, to raise
haut, -e, *adj.*, high, tall, loud
haut, *n. m.*, top, summit
 (haut fourneau, blast furnace)
haut, *adv.*, loudly, aloud
hautement, *adv.*, aloud, boldly
hauteur, *n. f.*, height, altitude
hémédrique, *adj.*, hemiedral
herbe, *n. f.*, grass, herb
héréditaire, *adj.*, hereditary
hérédité, *n. f.*, inheritance, succession, heredity
hérissier, *v. a.*, to bristle
héritage, *n. m.*, heritage, inheritance
hériter, *v. a.*, to inherit
hermétique, *adj.*, hermetical
hermétiquement, *adv.*, hermetically
hésiter, *v. n.*, to hesitate
hétérogène, *adj.*, heterogeneous
heure, *n. f.*, hour, time
 (à l'heure, on time; de bonne heure, early; tout à l'heure, presently)
heureusement, *adv.*, fortunately
heureu-x, -se, *adj.*, happy, fortunate
heurter, *v. a.*, to knock against, to hit, to offend
se heurter, *v. r.*, to hit one's self, to clash
hier, *adv.*, yesterday
hilarant, *adj.*, laughing
 (gaz hilarant, laughing gas)
hiver, *n. m.*, winter
hommage, *n. m.*, homage, respects
homme, *n. m.*, man
homologue, *adj.*, homologous
honnête, *adj.*, honest
honnêtement, *adv.*, honestly
honnêteté, *n. f.*, honesty, propriety

honneur, n. m., honor, credit
honoraire, adj., honorary
honorer, v. a., to honor
honte, n. f., shame
 (avoir honte, to be ashamed)
honteux, -se, adj., ashamed, shameful, disgraceful
horloge, n. f., clock
hors, prep., out, beyond, except, save
hotte, n. f., hood
houille, n. f., anthracite coal
huile, n. f., oil
huile de lin, linseed oil
huile de noix, walnut oil
huiler, v. a., to oil
huileux, -se, adj., oily
huit, adj., eight
huitième, adj., eighth
humecter, v. a., to moisten
humeur, n. f., humour temper, mood
humide, adj., damp, humid
humidité, n. f., humidity dampness
hydraté, -e, adj., hydrated
hydrogène, n. m., hydrogen
hydrogène arsenié, arseniureted hydrogen
hydrogène phosphoré, phosphureted hydrogen
hydrogène sulfuré, hydrogen sulphide
hydrogéné, -e, adj., hydrogenated
hydrogéner, v. a., to hydrogenate

I

ici, adv., here
idée, n. f., idea, notion, thought
identifier, v. a., to identify
identique, adj., identical, the same
identiquement, adv., identically
identité, n. f., identity
ignorant, -e, adj., ignorant, unacquainted with
ignorer, v. a., to be unacquainted with, not to know

il, pron. m. sing.; **ils, pron. m. plur.**, he, they
illégalement, adv., illegally
illimité, adj., unlimited
illisible, adj., illegible
illisiblement, adv., illegibly
illogique, adj., illogical
illogiquement, adv., illogically
illuminer, v. a., to illuminate
illustre, adj., illustrious
illustrer, v. a., to illustrate
image, n. f., image, resemblance, picture
imaginaire, adj., imaginary
imaginer, v. a., to imagine, to conceive
s'imaginer, v. r., to imagine, to believe
imbiber, v. a., to imbibe, to soak
imiter, v. a., to imitate
immédiat, -e, adj., immediate
 (analyse immédiate, qualitative analysis)
immédiatement, adv., immediately
immobile, adj., motionless
immodérément, adv., immoderately
impair, -e, adj., odd, uneven
imparfait, -e, adj., imperfect, incomplete
imparfaitement, adv., imperfectly
s'impatiser, v. r., to become impatient
impitoyable, adj., pitiless, unrelenting
impitoyablement, adv., unmercifully
impliquer, v. a., to implicate, to infer
importer, v. imp., to be of moment, to matter
importun, -e, adj., troublesome
imposant, -e, adj., imposing, stately
impôt, n. m., tax, duty
imprégner, v. a., to impregnate
impression, n. f., impression, edition
imprévoyance, n. f., want of foresight

- imprévu**, -e, *adj.*, unforeseen, unexpected
imprimeur, *n. m.*, printer
impunément, *adv.*, with impunity
impur, -e, *adj.*, impure
impureté, *n. f.*, impurity
imputer, *v. a.*, to attribute, to ascribe
inachevé, -e, *adj.*, unfinished
inaperçu, -e, *adj.*, unobserved
inappliqué, -e, *adj.*, unattentive
inapte, *adj.*, unfit
inassimilable, *adj.*, that is not assimilable
inattaquable, *adj.*, unassailable, untouched
inattendu, -e, *adj.*, unexpected
incapable, *adj.*, incapable, unfit
incarnat, -e, *adj.*, flesh-colored
incendie, *n. m.*, fire
incendier, *v. a.*, to burn down
incertain, -e, *adj.*, uncertain, questionable
incertitude, *n. f.*, uncertainty
incessamment, *adv.*, incessantly
incidemment, *adv.*, incidentally
incliner, *v. a.*, to incline, to slope
inclus, -e, *adj.*, enclosed
inclusif, -ve, *adj.*, inclusive
incolore, *adj.*, colorless
incomber, *v. n.*, to be incumbent on anyone
incommodé, *adj.*, inconvenient
incommoder, *v. a.*, to inconvenience
incomplètement, *adv.*, incompletely, imperfectly
inconnu, -e, *adj.*, unknown
inconséquent, -e, *adj.*, inconsistent
inconstance, *n. f.*, inconstancy, unsteadiness
inconstant, -e, *adj.*, inconstant, variable, unsteady
incontestable, *adj.*, incontestable, unquestionable
incorporer, *v. a.*, to incorporate, to embody
inculte, *adj.*, uncultivated
indécis, -e, *adj.*, undecided, indeterminate
indéfini, -e, *adj.*, indefinite, unlimited
indéfiniment, *adv.*, indefinitely
indéfinissable, *adj.*, undefinable, unaccountable
indice, *n. m.*, indication, sign, factor
indigéré, -e, *adj.*, undigested
indigne, *adj.*, unworthy
indignement, *adv.*, unworthily
s'indigner, *v. r.*, to be indignant
indiquer, *v. a.*, to indicate, to show
indiscutable, *adj.*, unquestionable
indisposer, *v. a.*, to upset, to set against
individu, *n. m.*, individual
individuel, -le, *adj.*, individual
individuellement, *adv.*, individually
indûment, *adv.*, unduly
industrie, *n. f.*, industry, trade, manufacture
industriel, *n. m.*, manufacturer
inébranlable, *adj.*, immovable, firm
inédit, -e, *adj.*, unpublished
inégal, -e, *adj.*, unequal, uneven
inégalement, *adv.*, unequally, unevenly
inépuisable, *adj.*, inexhaustible
inerte, *adj.*, inert, sluggish
inertie, *n. f.*, inertia, inertness
inespéré, -e, *adj.*, unhoped, unexpected
inespérément, *adv.*, unexpectedly
inexact, -e, *adj.*, inaccurate
inexactement, *adv.*, inaccurately
inexploité, *adj.*, unworked, untilled
s'infiltrer, *v. r.*, to seep in, to spread
infime, *adj.*, lowest
infini, -e, *adj.*, infinite, numberless
infini, *n. m.*, infinite
 (à l'infini, to infinity)

- infiniment**, *adv.*, infinitely, extremely
infliger, *v. a.*, to inflict
informe, *adj.*, shapeless
informer, *v. a.*, to inform, to acquaint
s'informer, *v. r.*, to inquire
infructueux, *-e, adj.*, unfruitful, un-
 availing
ingérer, *v. a.*, to introduce into the
 stomach through the mouth
ininterrompu, *-e, adj.* uninterrupted
injurer, *n. f.*, injury, wrong
injuste, *adj.*, unjust, unfair
injustement, *adv.*, unjustly wrongly
inodore, *adj.*, odorless
inonder, *v. a.*, to inundate, to deluge
inouï, *-e, adj.*, unheard of
inoxydable, *adj.*, which cannot be ox-
 ydized
inquiétude, *n. f.*, anxiety, uneasiness
insensé, *-e, adj.*, insane, senseless
insérer, *v. a.*, to insert, to put in
insister, *v. n.*, to insist, to persist
insoutenable, *adj.*, indefensible, in-
 supportable
instable, *adj.*, unstable
insu, *prep.*, (à l'insu de, unknown to)
insuccès, *n. m.*, failure
insuffisamment, *adv.*, insufficiently
insuffisance, *n. f.* insufficiency
insuffisant, *-e, adj.*, inadequate, in-
 sufficient
insuffler, *v. a.*, to breathe in
interdire, *v. a.*, to interdict, to forbid
intéressant, *-e, adj.*, interesting
intérêt, *n. m.*, interest, share
interne, *adj.*, internal
interpeller, *v. a.*, to summon, to chal-
 lenge
interroger, *v. a.*, to question, to con-
 sult
interrompre, *v. a.*, to interrupt, to cut
 off
intervenir, *v. n.*, to intervene, to in-
 terfere
inverter, *-e, adj.*, invert
intime, *adj.*, intimate, inmost
intituler, *v. a.*, to entitle, to call
introduire, *v. a.*, to introduce, to bring
 in
inutile, *adj.*, useless, needless
inutilement, *adv.*, uselessly, needlessly
invariant, *-e, adj.*, non variant
invraisemblable, *adj.*, unlikely, im-
 probable
iode, *n. m.*, iodine
iodé, *-e, adj.*, iodized
iodoamidonné, *adj.*, starch iodide
iodure, *adj.*, iodide
iodure d'alcyle, alkyl iodide
iodure d'éthyle, ethyl iodide
ioduré, *-e, adj.*, containing iodine
irréalisable, *adj.*, that cannot be done
irréfléchi, *-e, adj.*, thoughtless, heed-
 less
irréremédiable, *adj.*, not to be remedied,
 helpless, irretrievable
irrigable, *adj.*, that can be irrigated
irritant, *-e, adj.*, irritating
irriter, *v. a.*, to irritate, to provoke,
 to excite
isolant, *-e, adj.*, insulating
isolé, *-e, adj.*, isolated, detached
isolément, *adv.*, separately
isoler, *v. a.*, to isolate, to insulate, to
 separate
issu, *-e, adj.*, descended, sprung
issue, *n. f.*, issue, outlet

J

- jadis**, *adv.*, formerly
jaillir, *v. n.*, to spout, to gush out, to
 burst out
jaillissant, *-e, adj.*, spouting, gushing
 out
jais, *n. m.*, jet
jamaïs, *adv.*, never, ever
jambe, *n. f.*, leg

janvier, *n. m.*, January
 jardin, *n. m.*, garden
 jauge, *n. f.*, gauge, calibration mark
 (trait de jauge, calibration mark)
 jaugeage, *n. m.*, gauging, graduation
 jaugeage par écoulement, graduation
 for delivery
 jaugeage par emplissage, graduation
 for contents
 jauger, *v. a.*, to gauge, to measure, to
 calibrate
 jaunâtre, *adj.*, yellowish
 jaune, *adj.*, yellow
 jaunir, *v. n.*, to turn yellow
 je, *pron.*, I
 jet, *n. m.*, jet, throw
 jeté, *-e, adj.*, cast, thrown
 jeter, *v. a.*, to throw, to cast
 se jeter, *v. r.*, to cast one's self, to
 fall
 jeu, *n. m.*, play, gambling
 jeudi, *n. m.*, Thursday
 jeûn (à jeûn, *adv.*, fasting)
 jeune, *adj.*, young
 jeûne, *n. m.*, fasting, fast
 jeûner, *v. n.*, to fast
 jeunesse, *n. f.*, youth
 joie, *n. f.*, joy
 joindre, *v. a.*, to join, to unite
 se joindre, *v. r.*, to join, to meet
 joint, *n. m.*, joint, seam
 joint, *-e, adj.*, joined, united, jointed
 joli, *-e, adj.*, pretty, nice
 joliment, *adv.*, prettily, finely, much
 jonc, *n. m.*, rush, reed
 jonché, *-e, adj.*, strewn
 joncher, *v. a.*, to strew
 jouer, *v. a.*, to play, to feign
 se jouer de, *v. r.*, to play, to make
 game of, to baffle
 jouir, *v. n.*, to enjoy, to be in posses-
 sion of
 jouissance, *n. f.*, enjoyment, posses-
 sion

jour, *n. m.*, day, daytime
 (en plein jour, in open daylight)
 (à jour, open; tous les jours, ev-
 ery day)
 journal, *n. m.*, journal, newspaper
 journali-er, *-ère, adj.*, daily
 journée, *n. f.*, day, day's work
 (toute la journée, all day long)
 journellement, *adv.*, daily, every day
 joyeusement, *adv.*, cheerfully
 joyeu-x, *-se, adj.*, joyful, merry
 judicieusement, *adv.*, judiciously, dis-
 creetly
 judicieu-x, *-se, adj.*, judicious, wise
 juge, *n. m.*, judge
 jugement, *n. m.*, judgment, opinion
 juger, *v. a.*, to judge, to believe
 juillet, *n. m.*, July
 juin, *n. m.*, June
 jumeau, *m.*, jumelle, *f., adj.*, twin
 jurer, *v. a.*, to swear, to vow
 jus, *n. m.*, juice
 jusque, *prep.*, to, even, as far as, till,
 until, up to
 juste, *adj.*, just, right, tight
 juste, *adv.*, just, exactly
 justement, *adv.*, justly, precisely
 justesse, *n. f.*, justness, accuracy, pre-
 cision
 justice, *n. f.*, justice, righteousness
 justifiant, *-e, adj.*, justifying
 justifier, *v. a.*, to justify
 juteu-x, *-se, adj.*, juicy

K

kilo, *n. m.*, abbreviation for kilo-
 gramme

L

la, *art.*, the
 la, *pron.*, her, it
 là, *adv.*, there, then; ça et là, here
 and there; de là, thence; par là,
 that way

- là-bas, down there
 là-haut, up there
 là-dessus, thereupon
 laboratoire, *n. m.*, laboratory
 laborieusement, *adv.*, laboriously, painfully
 laborieu-x, -se, *adj.*, industrious, painful
 labourable, *adj.*, arable
 labourage, *n. m.*, tillage, ploughing
 labourer, *v. a.*, to till, to plough
 lacerer, *v. a.*, to lacerate, to tear up
 lâche, *adj.*, loose, slack, cowardly
 lâcher, *v. a.*, to slacken, to loosen, to let go, to release
 laconique, *adj.*, laconic
 lactique, *adj.*, lactic
 lacune, *n. f.*, gap, blank
 laid, -e, *adj.*, ugly, unbecoming
 laine, *n. f.*, wool
 laineu-x, -se, *adj.*, woolly
 laïque, *adj.*, *n. m.*, lay, layman
 laisser, *v. a.*, to leave, to allow
 laisser de, to stop
 se laisser, *v. r.*, to allow one's self
 lait, *n. m.*, milk
 lait de chaux, milk of lime
 laitage, *n. m.*, milk food
 laitance de poisson, fish-roe
 laiterie, *n. f.*, dairy-farm, dairy-room
 laitou-x, -se, *adj.*, milky
 laiton, *n. m.*, brass
 laitue, *n. f.*, lettuce
 lambeau, *n. m.*, shred, fragment, ribbon
 lame, *n. f.*, plate, sheet of metal, blade
 lamé, -e, *adj.*, laminated
 lamentable, *adj.*, woful
 lamenter, *v. a.*, to lament, to bewail, to mourn
 laminage, *n. m.*, rolling of metals
 laminer, *v. a.*, to roll metals
 laminerie, *n. f.*, rolling-mill
 lampe, *n. f.*, lamp
 lance, *n. f.*, spear
 lancer, *v. a.*, to hurl, to issue, to launch
 se lancer, *v. r.*, to rush, to start
 langage, *n. m.*, language, speech
 langoureux, -se, *adj.*, languishing
 langue, *n. f.*, tongue, language
 langueur, *n. f.*, languidness, languor
 languir, *v. n.*, to languish, to linger
 languissant, -e, *adj.*, languid, lingering
 laque, *n. f.*, lake
 (gomme laque, gum-lake)
 laquelle, *pron. f.*, which, who, that
 laquer, *v. a.*, to lacker, to varnish
 lard, *n. m.*, bacon, lard
 large, *adj.*, wide, broad
 largement, *adv.*, largely, amply, fully
 largeur, *n. f.*, width, breadth, broadness
 larme, *n. f.*, tear, drop
 las, -se, *adj.*, tired
 lasser, *v. a.*, to tire
 se lasser, *v. r.*, to grow tired
 latéral, -e, *adj.*, lateral
 (chaîne latérale, side chain)
 (tube latéral, side-neck)
 laurier, *n. m.*, laurel, bay-tree
 lavabo, *n. m.*, wash-stand
 lavage, *n. m.*, washing, wash
 lavement, *n. m.*, washing, injection
 laver, *v. a.*, to wash
 le, *art.*, *m.*, les, *plur.*, the
 le, *pron. m.*, les, *plur.*, him, it, them
 lécher, *v. a.*, to lick
 leçon, *n. f.*, lesson, lecture
 lecture, *n. f.*, reading, perusal
 légaliser, *v. a.*, to authenticate
 lég-er, -ère, *adj.*, light, feeble
 légèrement, *adv.*, lightly
 légèreté, *n. f.*, lightness
 légitime, *adj.*, lawful, legitimate
 légitimement, *adv.*, lawfully, legitimately

- léguer, v. a.**, to leave by will, to bequeath
légume, n. m., vegetable, legume
légumineu-x, -se, adj., leguminous
lendemain, n. m., day after
lent, -e, adj., slow
lentement, adv., slowly
lenteur, n. f., slowness
lequel, lesquels, lesquelles, pron., who, whom, which, which one, which ones
lea, art. plur., the
lessive, n. f., wash, washing, solution
leste, adj., brisk, nimble, active
lestement, adv., briskly
lettre, n. f., letter, type
leur, poss. adj., their
 (le leur, la leur, les leurs, theirs)
leur, pers. pron., them, to them
levé, -e, adj., raised, risen, lifted up
lever, v. a., to lift, to raise up
se lever, v. r., to get up
lever, n. m., rising
levogyre, adj., levoratory
lèvre, n. f., lip
levure, n. f., yeast
lézarder, v. a., to crack
liaison, n. f., connection, union, bond
libération, n. f., deliverance, discharge
libéré, -e, adj., liberated, discharged
libérer, v. a., to liberate, to discharge
libraire, n. m., bookseller
librairie, n. f., library, bookshop
libre, adj., free, exempt
librement, adv., freely
lie, n. f., dregs, grounds
lie des vina, argol
lié, -e, adj., tied, bound
liège, n. m., cork
lien, n. m., strap, band, bonds
lier, v. a., to tie, to bind
se lier, v. r., to bind, to thicken, to form a connection
ierre, n. m., ivy
lieu, n. m., place, spot, occasion
 (au lieu de, instead of; avoir lieu, to take place)
ligne, n. f., line, path
limaille, n. f., filings
limer, v. a., to file
limiter, v. a., to limit, to confine
limoneu-x, -se, adj., muddy, turbid
limpide, adj., clear
limure, n. f., filings
lin, n. m., flax
 (huile de lin, linseed oil)
linge, n. m., linen, cloth
lingot, n. m., bullion
liquéfier, v. a., to liquefy
liqueur, n. f., liquor liquid, solution
liqueur de Fehling, Fehling's solution
liqueur titrée, standardized solution
liquide, adj., liquid, watery
lire, v. a., to read
lisière, n. f., border
lisse, adj., smooth, glossy
lisser, v. a., to smooth, to polish
liste, n. f., list, catalog
lit, n. m., bed, stratum
livraison, n. f., delivery of goods
livre, n. m., book
livrer, v. a., to deliver, to give up
se livrer à, v. r., to devote one's self
local, n. m., habitation, premises
loger, v. a., to lodge, to live
se loger, v. r., to lodge
logique, adj., logical
loi, n. f., law, rule
loin, adv., far distant, remote
lointain, -e, adj., remote
loisir, n. m., leisure, spare time
long, -ue, adj., long, tedious
long, n. m., length
 (tout le long, all along)
longer, v. a., to walk along
longtemps, adv., a long while
longuement, adv., a long time, a great while

longueur, *n. f.*, length
 lors, *adv.*, then
 (dès lors, from that time; lors de,
 at the time of)
 lorsque, *conj.*, when
 lot, *n. m.*, lot, portion, share
 louable, *adj.*, commendable, praise-
 worthy
 louange, *n. m.*, praise
 louche, *n. m.*, turbidity
 louer, *v. a.*, to rent, to let, to hire, to
 praise
 loupe, *n. f.*, lens, eye-glass, magnify-
 ing-glass
 lourd, -e, *adj.*, heavy
 lourdement, *adv.*, heavily
 loyalement, *adv.*, loyally, fairly
 lueur, *n. f.*, glimmer, light
 lui, *pers. pron.*, him, to him, to her,
 to it
 luire, *v. n.*, to shine, to glitter
 luisant, -e, *adj.*, shining, glossy
 lumière, *n. f.*, light
 lumineux-x, -se, *adj.*, luminous
 lundi, *n. m.*, Monday
 lunette, *n. f.*, eye glass, sight glass,
 peep hole
 lustre, *n. m.*, lustre, brilliancy
 lustré, -e, *adj.*, glossy
 lustrer, *v. a.*, to give a gloss to
 lut, *n. m.*, luting
 luter, *v. a.*, to lute
 lutte, *n. f.*, struggle, contest
 luzerne, *n. f.*, lucern, alfalfa

M

ma, *poss. adj.*, my
 macérer, *v. a.*, to macerate
 mâcher, *v. a.*, to chew, to masticate
 machinal, -e, *adj.*, mechanical
 machinalement, *adv.*, mechanically
 machine, *n. f.*, machine, engine, ma-
 chinery
 mâchoire, *n. f.*, jaw, jawbone

magistrale, *adj.*, masterly
 magnésie, *n. f.*, magnesia
 magnésium, *n. m.*, magnesium
 magnétiser, *v. a.*, to magnetize
 magnifique, *adj.*, magnificent, gor-
 geous
 maigre, *adj.*, thin, lean, meagre
 maigrement, *adv.*, meagerly, poorly
 maigrir, *v. n.*, to grow thin
 maille, *n. f.*, mesh, stitch
 main, *n. f.*, hand
 main-d'œuvre, *n. f.*, workmanship,
 manual labor
 maint, -e, *adj.* many
 maintenant, *adv.*, now
 maintenir, *v. a.*, to maintain, to sus-
 tain
 se maintenir, *v. r.*, to hold out, to
 keep up
 maintien, *n. m.*, maintenance, keeping
 up
 maïs, *n. m.*, maize, Indian wheat
 mais, *conj.*, but
 maison, *n. f.*, house, home
 maître, *n. m.*, master, owner, instruct-
 or
 maîtriser, *v. a.*, to master, to subdue
 majeur, -e, *adj.*, major greater
 majorité, *n. f.*, majority
 majuscule, *n. f.*, capital letter
 mal, *n. m.*, evil, ill, harm, pain, ache
 mal, *adv.*, ill, wrong, badly
 malade, *adj.*, sick, poorly
 maladie, *n. f.*, illness, disease
 maladi-f, -ve, *adj.*, sickly
 maladresse, *n. f.*, awkwardness
 maladroit, -e, *adj.*, awkward
 maladroitement, *adv.*, awkwardly
 malaise, *n. m.*, uneasiness
 maïsé, -e, *adj.*, hard, difficult
 malaisément, *adv.*, with difficulty
 mâle, *n. m.*, male
 malentendu, *n. m.*, misunderstanding

- malfaisant**, -e, *adj.*, malevolent, unhealthy, injurious
malgré, *prep.*, in spite of, notwithstanding
malheur, *n. m.*, misfortune
malheureusement, *adv.*, unfortunately
malheureux, -se, *adj.*, unfortunate, unhappy poor
malhonnête, *adj.*, dishonest
malhonnêtement, *adv.*, dishonestly
malice, *n. f.*, malice, spite, maliciousness
malicieusement, *adv.*, maliciously, viciously
malicieux, -se, *adj.*, malicious, vicious
malle, *n. f.*, trunk
malpropre, *adj.*, dirty, slovenly
malsain, *adj.*, unhealthy, unwholesome
manche, *n. m.*, handle
manche, *n. f.*, sleeve
manchon, *n. m.*, mantle, muff
mandat, *n. m.*, warrant, draft, money-order
manger, *v. a.*, to eat, to consume
maniable, *adj.*, workable, easy to handle
maniement, *n. m.*, handling
manier, *v. a.*, to feel, to handle
manière, *n. f.*, manner, way, kind
manifeste, *v. a.*, to manifest, to make known
manipuler, *v. a.*, to manipulate
manque, *n. m.*, want
manquer, *v. n.*, *v. a.*, to miss, to fail, to be deficient, to be in need of
manteau, *n. m.*, cloak, mantle, mask
manuel, -le, *adj.*, manual, made by hand
marais, *n. m.*, marsh, swamp
marbre, *n. m.*, marble
marchand, *n. m.*, merchant, dealer
marchandise, *n. f.*, merchandise, goods
marche, *n. f.*, walk, gait, progress, advance
marché, *n. m.*, market, bargain, purchase
marcher, *v. a.*, to walk, to run, to move on
mardi, *n. m.*, Tuesday
marécage, *n. m.*, swamp, bog
marécageux, -se, *adj.*, swampy
marée, *n. f.*, tide
marge, *n. f.*, margin
marque, *n. f.*, mark, sign, proof
marqué, -e, *adj.*, marked, evident
marquer, *v. a.*, to mark, to brand, to note
marron, *n. m.*, French chestnut
marron d'Inde, horse chestnut
marronnier, *n. m.*, chestnut tree
mars, *n. m.*, March
marteau, *n. m.*, hammer
masque, *n. m.*, mask, blind, pretense
masquer, *v. a.*, to conceal
masse, *n. f.*, mass
massif, -ve, *adj.*, bulky
mastic, *n. m.*, putty
mat, -e, *adj.*, dull, unpolished
matelas, *n. m.*, mattress
matière, *n. f.*, matter, subject, cause
matière colorante, dye
matière première, raw material
matière sucrée, carbohydrate
matin, *n. m.*, morning
matras, *n. m.*, round bottom flask with long neck
matras jaugé, volumetric flask
matrice, *n. f.*, standard weight or measure
maudire, *v. a.*, to curse
mauvais, -e, *adj.*, bad, ill-natured
méchamment, *adv.*, wickedly
méchanceté, *n. f.*, wickedness
méchant, -e, *adj.*, bad, wretched, wicked, naughty
mèche, *n. f.*, wick, tinder

- méconnaissable**, *adj.*, unrecognizable
méconnaître, *v. a.*, not to know again,
 not to appreciate
mécontent, *-e, adj.*, dissatisfied
mécontentement, *n. m.*, dissatisfaction,
 displeasure
mécontenter, *v. a.*, to displease, to dis-
 satisfy
médaille, *n. f.*, medal, medallion
médecin, *n. m.*, doctor, physician
médecine, *n. f.*, medicine, physic
médire, *v. n.*, to slander
méditer, *v. a.*, to meditate, to think
 over
se méfier, *v. r.*, to mistrust, to dis-
 trust
mégarde, *n. f.*, inadvertence
 (par mégarde, *inadvertently*)
meilleur, *-e, adj.*, better, best
mélange, *n. m.*, mixture, mingling
mélange réfrigérant, freezing mixture
mélanger, *v. a.*, to mix, to blend
mélasse, *n. f.*, molasses
mêler, *v. a.*, to mingle, to mix, to mix
 up
se mêler, *v. r.*, to mingle, to be mixed
même, *adj.*, same, self, very
même, *adv.*, even, also, likewise
mémoire, *n. f.*, memory, remembrance
mémoire, *n. m.*, memorandum, bill
menaçant, *-e, adj.*, threatening
menace, *n. f.*, menace, threat
menacer, *v. a.*, to threaten, to menace
ménage, *n. m.*, household, housekeep-
 ing, saving
ménager, *v. a., v. n.*, to husband, to be
 careful of, to spare, to save
se ménager, *v. r.*, to take care of one's
 self
ménagère, *n. f.*, housewife, house-
 keeper
mendier, *v. n.*, to beg, to implore
mener, *v. a.*, to carry, to conduct, to
 lead, to take
ménisque, *n. m.*, meniscus
mensonge, *n. m.*, lie
mensuel, *-le, adj.*, monthly
menthe, *n. f.*, mint
menthe verte, spearmint
mentionner, *v. a.*, to mention
mentir, *v. n.*, to lie
menton, *n. m.*, chin
mépris, *n. m.*, contempt, scorn
méprise, *n. f.*, mistake, oversight
mépriser, *v. a.*, to despise, to scorn
mer, *n. f.*, sea
merci, *n. f.*, mercy
merci, *adv.*, thanks
mercredi, *n. m.*, Wednesday
mercure, *n. m.*, mercury
mère, *n. f.* mother
 (eau mère, mother liquor)
mérite, *n. m.*, merit, worth
mériter, *v. a., v. n.*, to deserve
merveille, *n. f.*, wonder, marvel
 (à merveille, wonderfully well)
merveilleusement, *adv.*, wonderfully
merveilleu-x, -se, adj., wonderful
mesquin, *-e, adj.*, mean, paltry, poor
messieurs, *n. m. plur.*, gentlemen,
 Messrs.
mesure, *n. f.*, measure, dimension,
 limit
mesurer, *v. a.*, to measure, to com-
 pare
méticuleu-x, -se, adj., overscrupulous
métier, *n. m.*, trade
mettre, *v. a.*, to put, to put on, to lay
se mettre, *v. r.*, to put one's self, to
 begin
meuble, *n. m.*, furniture
meubler, *v. a.*, to furnish, to stock
meunier, *n. m.*, miller
meurtri, *-e, adj.*, bruised
meurtrir, *v. a.*, to bruise
mi, *adv.*, mid, half
midi, *n. m.*, noon, twelve o'clock,
 south

- mie*, *n. f.*, crum, soft part of bread
miel, *n. m.*, honey
mien, *-ne, adj.*, mine
miette, *n. f.*, crumb, little bit
mieux, *adv.*, better, rather, best, more
mil, *mille, adj.*, thousand
milieu, *n. m.*, middle, midst, centre, medium
mince, *adj.*, thin, shallow
mine, *n. f.*, mine, source, look, appearance
mineral, *n. m.*, ore
minuit, *n. m.*, midnight
minuscule, *n. f.* small letter
minutieusement, *adv.*, minutely
miroir, *n. m.*, mirror
mise, *n. f.* placing, circulation
mise en marche, *n. f.*, starting
mise en solution, dissolving
misérable, *adj.*, miserable, wretched
misérablement, *adv.*, miserably, wretchedly
misère, *n. f.*, misery, want
mitiger, *v. a.*, to mitigate, to soften
mode, *n. f.* mode, fashion
modèle, *n. m.*, model, pattern
modeler, *v. a.*, to model, to shape
modérer, *v. a.*, to moderate, to restrain, to reduce
modifier, *v. a.*, to modify
moelle, *n. f.*, marrow, pith
moelleu-x, -se, adj., pithy, soft
mœurs, *n. f. plur.*, manners, habits, ways
moi, *pers. pron.*, I, me, to me
moindre, *adj.* less, least
moins, *adv.*, less, under, minus
 (à moins de, for less than, unless;
 à moins que, unless)
mois, *n. m.*, month
moisi, *-e, adj.*, mouldy
moisir, *v. a.*, to mould
se moisir, *v. r.*, to grow mouldy
moisson, *n. f.*, harvest
moissonner, *v. a.*, to reap, to harvest
moite, *adj.*, moist, damp
moitié, *n. f.*, half
molester, *v. a.*, to molest, to trouble
mollement, *adv.*, softly, feebly
mollesse, *n. f.*, softness, slackness
moment, *n. m.*, moment, momentum
momentanément, *adv.*, momentarily
mon, *poss. adj. m., ma; f., mes; plur.*, my
monceau, *n. m.*, heap
monde, *n. m.*, world, universe
monnaie, *n. f.*, coin, money
montagne, *n. f.*, mountain
montant, *n. m.*, upright, arm, amount
montant, -e, adj., ascending, rising
monter, *v. a.*, to mount, to lift up, to set up of apparatus)
monter, *v. n.*, to go up, to ascend
se monter, *v. r.*, to amount
montre, *n. f.*, watch
montrer, *v. a.*, to show, to set forth
se montrer, *v. r.*, to appear
se moquer, *v. r.*, to make fun of, to ridicule
morceau, *n. m.*, piece, bit
morceler, *v. a.*, to parcel out
mordant, -e, adj., biting, cutting
mordant, *n. m.*, mordant
mordre, *v. a.*, to bite, to corrode
morne, *adj.*, dull, gloomy
mort, *n. f.*, death
mort, -e, adj., dead, dormant, still
mortier, *n. m.*, mortar
morue, *n. f.*, codfish
 (huile de foie de morue, codliver oil)
mot, *n. m.*, word, answer
mot-eur, -rice, adj., motive
motif, *n. m.*, motive, incentive, cause
motiver, *v. a.*, to allege, to be the cause of
mou, mol, molle, adj., soft, slack
mouche, *n. f.*, fly

mouchoir, *n. m.*, handkerchief
moudre, *v. a.*, to grind, to mill
moufle, *n. m.*, muffle
mouillé, *-e, adj.*, wet
mouiller, *v. a.*, to wet, to moisten
moulage, *n. m.*, moulding, grinding
moule, *n. m.*, mould, cast
mouler, *v. a.*, to cast, to mould
moulin, *n. m.*, mill
moulu, *-e, adj.*, ground
mourir, *v. n.*, to die, to stop
mousse, *n. f.*, moss, lather, froth
**mousseu-x, -se, adj., foaming, frothy
moutarde, *n. f.*, mustard
mouton, *n. m.*, sheep, mutton
mouvement, *n. m.*, movement, motion,
 fluctuation, life, works of a piece
 of machinery
mouvoir, *v. a.*, to move, to stir up, to
 excite
se **mouvoir**, *v. r.*, to move, to move
 about
moyen, *n. m.*, means, way, medium
moyen, *-ne, adj.*, mean, middle
moyennement, *adv.*, moderately
muet, *-te, adj.*, mute, speechless,
 dumb
munir, *v. a.*, to provide with, to sup-
 ply
se **munir**, *v. r.*, to provide one's self,
 to be supplied
munition, *n. f.*, ammunition
**muqueu-x, -se, adj., mucous
mur, *n. m.*, wall
mûr, *-e, adj.*, ripe, mature, worn out
muraille, *n. f.*, wall
mûrement, *adv.*, maturely
murer, *v. a.*, to wall up
mûrir, *v. n.*, to ripen, to mature
murmure, *n. m.*, murmur, grumbling
murmurer, *v. n.*, to murmur
**muscleu-x, -se, adj., muscular
musseau, *n. m.*, muzzle, nose
musée, *n. m.*, museum******

museler, *v. a.*, to muzzle, to gag
mutiler, *v. a.*, to mutilate, to maim
se **mutiner**, *v. r.*, to mutiny
mutuel, *-le, adj.*, mutual, reciprocal
mutuellement, *adv.*, mutually

N

nacelle, *n. f.*, boat for combustion
 furnace
nacre, *n. f.*, mother of pearl
nager, *v. n.*, to swim, to float
naï-f, -ve, adj., naive, simple, unaf-
 fected
naissance, *n. f.*, birth, rise
naissant, *-e, adj.*, newly born, nascent
naître, *v. n.*, to be born, to arise
naïvement, *adv.*, naively, candidly
naphte, *n. m.*, naphtha
nappe, *n. f.*, cloth, table-cloth
narcotique, *n. m.*, narcotic
narguer, *v. a.*, to defy, to set at de-
 fiance
nati-f, -ve, adj., native, natural
nativité, *n. f.*, birth
natte, *n. f.*, mat, matting
naturel, *-le, adj.*, natural, inherent,
 plain
naturellement, *adv.*, naturally
nauséabond, *-e, adj.*, nauseous
nausée, *n. f.*, nausea
navette, *n. f.*, rape-seed, shuttle
navire, *n. m.*, ship
ne...guère, *adv.*, hardly
ne...jamais, *adv.*, never
ne...pas, *adv.*, not, no
ne...pas encore, *adv.*, not yet
ne...personne, *adv.*, no one
ne...plus, *adv.*, no more, no longer
ne...que, *adv.*, only
ne...rien, *adv.*, nothing
né, *-e, part.*, born
néanmoins, *adv.*, nevertheless, how-
 ever
néant, *n. m.*, nothing, naught

- nébuleu-x, -se, adj.**, nebulous, cloudy
nécessaire, adj., necessary
nécessaire, n. m., necessities
nécessairement, adv., necessarily
nécessité, n. f., necessity, need
nécessiter, v. a., to compel
néfaste, adj., of evil omen, unlucky
négligé, -e, adj., neglected
négligeable, adj., that can be neglected
négligemment, adv., carelessly
négligence, n. f., neglect
négligent, -e, adj., negligent, neglectful
négociier, v. n., to negotiate, to trade
neige, n. f., snow
neigeu-x, -se, adj., snowy
nerf, n. m., nerve
nerveu-x, -se, adj., nervous, sinewy
net, -te, adj., neat, pure, plain, definite
net, adv., clean, entirely, flatly
nettement, adv., neatly, distinctly, plainly
netteté, n. f., cleanness, neatness, clearness
nettoyer, v. a., to clean, to cleanse, to wipe
neuf, n., adj., nine
neu-f, -ve, adj., new
neutralisant, n. m., neutralizing body
neutralisation, n. f., neutralization
neutraliser, v. a., to neutralize
neutre, adj., neutral, neuter
neuvième, adj., ninth
nez, n. m., nose
ni...ni, conj., neither...nor
niable, adj., deniable
se nicher, v. r., to nestle
nid, n. m., nest
nier, v. a., to deny
nitré, -e, adj., nitrated, nitro
nitreu-x, -se, adj., nitrous
nitrier, v. a., to nitrate
nitrique, adj., nitric
niveau, n. m., level
niveler, v. a., to level
noblement, adv., nobly
nœud, n. m., knot, tie, bond
noir, -e, adj., black
noir, n. m., black
noir animal, boneblack, animal charcoal
noir de fumée, lampblack
noircœur, n. f., blackness, baseness
noircir, v. a., to blacken, to stain
noix, n. f., nut, walnut
nom, n. m., name, noun, fame
nombre, n. m., number, quantity
nombreu-x, -se, adj., numerous
nommer, v. a., to name, to elect
non, adv., no, not
nonchalamment, adv., carelessly
nonchalance, n. f., carelessness
nonchalant, -e, adj., careless
nord, n. m., north
nos, poss. adj. plur., our
notamment, adv., specially
note, n. f., note, mark, account, memorandum
noter, v. a., to note, to observe
notion, n. f., notion, idea
notre, poss. adj., our
nôtre, poss. pron., ours
noué, -e, adj., tied
nouer, v. a., to tie, to knot
noueu-x, -se, adj., knotty
nourri, -e, adj., nourished, fed
nourrir, v. a., to nourish, to feed, to cherish
se nourrir, v. r., to feed, to live
nourissant, -e, adj., nutritive, nourishing
nourriture, n. f., food, nourishment
nous, pers. pron., we, us, to us, each other
nouveau, nouvel, -le, adj., new, recent
nouveauté, n. f., novelty, change

nouvelle, *n. f.*, news
 nouvellement, *adv.*, lately, recently
 noyau, *n. m.*, stone of fruit, nucleus
 of a ring
 noyau benzénique, *n. m.*, benzene nucleus
 noyer, *v. a.*, to drown, to put under water
 nu, -e, *adj.*, naked, bare, plain
 nuage, *n. m.*, cloud
 nuageu-x, -se, *adj.*, cloudy
 nuance, *n. f.*, shade, tint
 nuancer, *v. a.*, to shade, to tint
 nuée, *n. f.*, cloud, swarm, shower
 nuire, *v. n.*, to hurt, to do harm, to prejudice
 nuisible, *adj.*, injurious, detrimental
 nuit, *n. f.*, night, darkness
 nul, -le, *pron.*, no one, nobody
 nul, -le, *adj.*, void, no, not any
 nullement, *adv.*, not at all, by no means
 nullifier, *v. a.*, to nullify
 numéro, *n. m.*, number, size
 numérotage, *n. m.*, numbering
 nutritif, -ve, *adj.*, nutritive, nourishing

O

obéir, *v. n.*, to obey, to yield
 obéissance, *n. f.*, obedience
 objecter, *v. a.*, to object, to reproach with
 objectif, *n. m.*, object-glass, aim, end
 objet, *n. m.*, object, subject, view, purport
 obligatoire, *adj.*, obligatory, compulsory
 obligé, -e, *adj.*, obliged, necessary
 obligeamment, *adv.*, obligingly
 obligeance, *n. f.*, kindness
 obligeant, -e, *adj.*, obliging, kind
 obliger, *v. a.*, to oblige, to compel
 obliquement, *adv.*, obliquely
 obscur, -e, *adj.*, obscure, dark
 obscurcir, *v. a.*, to obscure, to darken
 s'obscurcir, *v. r.*, to grow dim
 obscurcissement, *n. m.*, dimness
 obscurément, *adv.*, dimly, confusedly
 obscurité, *n. f.*, darkness
 observat-eur, -rice, *adj.*, observer, observer
 observer, *v. a.*, to observe, to watch
 obstiné, -e, *adj.*, obstinate, stubborn
 obstinément, *adv.*, stubbornly
 s'obstiner, *v. r.*, to be obstinate, to insist on
 obstructif, -ve, *adj.*, obstructive
 obstruction, *n. f.*, stoppage, obstruction
 obstrué, -e, *adj.*, obstructed, stopped
 obstruer, *v. a.*, to obstruct, to stop up
 obtenir, *v. a.*, to obtain, to get
 obus, *n. m.*, shell
 obvier, *v. n.*, to obviate
 occasion, *n. f.*, opportunity, occasion
 (d'occasion, accidentally, second-hand)
 occasionnellement, *adv.*, occasionally
 occasionner, *v. a.*, to cause
 occlusion, *n. f.*, occlusion, shutting up
 occupé, -e, *adj.*, busy, engaged
 occuper, *v. a.*, to occupy, to employ
 s'occuper, *v. r.*, to occupy one's self, to attend to
 ocreu-x, -se, *adj.*, ochre-like
 odeur, *n. f.*, odor, smell
 odieu-x, -se, *adj.*, odious, hateful
 odorant, -e, *adj.*, odoriferous, fragrant
 odorat, *n. m.*, smell
 œil, *n. m.*, eye
 œillet, *n. m.*, carnation, loop of wire
 œillette, *n. f.*, field-poppy
 œuf, *n. m.*, egg
 œuvre, *n. f.*, work, piece of work
 offensant, -e, *adj.*, offensive, obnoxious

- offense, n. f.*, offense
offenser, v. a., to offend
s'offenser, v. r., to be offended
offenseur, n. m., offender
offensi-f, -ve, adj., offensive
office, n. m., office, duty
officiel, le, adj., official
offre, n. f., offer
offrir, v. a., to offer, to propose
oignon, n. m., onion
oiseau, n. m., bird
oisi-f, -ve, adj., idle, doing nothing
oléagineu-x, -se, adj., oily
oléfine, n. f., olein
olélique, adj., oleic
ombrager, v. a., to shade
ombre, n. f., shade, shadow
on, pron., one, they, people
onctueu-x, -se, adj., unctuous, oily
onde, n. f., wave
ondulatoire, adj., undulatory
ondulé, -e, adj., undulated
onduleu-x, -se, adj., undulating
onéreu-x, -se, adj., onerous, burden-
 some
ongle, n. m., nail
onguent, n. m., ointment
onze, adj., eleven
onzième, adj., eleventh
opacité, n. f., opaqueness
opérant, -e, adj., operating
opérer, v. a., to operate, to perform,
 to work
opiat, n. m., opiate
opiniâtre, adj., stubborn
opiniâtement, adv., stubbornly
s'opiniâtrer, v. r., to be obstinate
opiniâtreté, n. f., obstinacy, stubborn-
 ness
opposant, -e, adj., opponent, opposing
opposé, -e, adj., opposite, contrary
opposer, v. a., to oppose
s'opposer, v. r., to be opposed
oppresser, v. a., to oppress
opprimer, v. a., to oppress
opter, v. n., to choose
optique, adj., optical, optic
or, n. m., gold
or, conj., but, now
orage, n. m., storm
orageu-x, -se, adj., stormy
oral, -e, adj., oral
oralement, adv., orally
orangé, -e, adj., orange-colored
ordinaire, adj., ordinary, usual
ordinairement, adv., usually
ordonné, -e, adj., ordered, prescribed
ordonner, v. a., to order
ordre, n. m., order
ordure, n. f., filth, dirt, excrement
oreille, n. f., ear
oreiller, n. m., pillow
organe, n. m., organ, medium
organisé, -e, adj., organized
organiser, v. a., to organize
s'organiser, v. r., to become organized
orge, n. f., barley
orgueil, n. m., pride
orienter, v. a., to set, to turn towards
 the East
s'orienter, v. r., to discover where one
 is
originaire, adj., originally from, na-
 tive
originaiement, adv., originally
original, -e, adj., original, queer
originaiement, adv., originally
origine, n. f., origin, source
originel, -le, adj., original
orner, v. a., to adorn
os, n. m., bone
oscillant, -e, adj., oscillating
osciller, v. n., to oscillate, to vibrate,
 to fluctuate
osé, n. m., rod with platinum wire
 sealed in
oseille, n. f., sorrel
oser, v. a., v. n., to dare, to venture

osseu-x, -se, *adj.*, bony
 ôter, *v. a.*, to take off, to take away
 ou, *conj.*, or, either, or else
 où, *adv.*, where, in which, to which
 oubli, *n. m.*, neglect, oblivion, forgetfulness
 oubliable, *adj.*, liable to be forgotten
 oublier, *v. a.*, to forget
 s'oublier, *v. r.*, to forget one's self
 ouest, *n. m.*, West, western
 oui, *adv.*, yes
 ourler, *v. a.*, to hem
 ourlet, *n. m.*, hem
 outil, *n. m.*, tool, implement
 outillage, *n. m.*, stock of tools
 outillé, -e, *adj.*, furnished with tools
 outrage, *n. m.*, outrage, gross insult
 outrageant, -e, *adj.*, outrageous, reproachful
 outrager, *v. a.*, to outrage
 outrance, *n. f.*, extreme, excess
 (& outrance, to the finish)
 outre, *adv.*, further, beyond
 outre, *prep.*, beyond, besides, in addition to
 outré, -e, *adj.*, exaggerated
 outremer, *n. m.*, ultra-marine
 outrepasser, *v. a.*, to go beyond, to exceed
 ouvert, -e, *adj.*, open
 ouvertement, *adv.*, openly
 ouverture, *n. f.*, opening, aperture
 ouvrage, *n. m.*, work, piece of work
 ouvrageé, -e, *adj.*, wrought
 ouvrant, -e, *adj.*, opening
 ouvrier, *n. m.*, workman, mechanic
 ouvrir, *v. a.*, to open
 oxalique, *adj.*, oxalic
 oxyde, *n. m.*, oxide
 oxyde de carbone, carbon monoxide
 oxyde puce de plomb, lead peroxide
 oxyder, *v. a.*, to oxidize
 s'oxyder, *v. r.*, to become oxidized

oxygène, *n. m.*, oxygen
 oxyhydrile, *n. m.*, hydroxyl group

P

paille, *n. f.*, straw, chip
 paillette, *n. f.*, scale
 pain, *n. m.*, bread
 pair, *adj.*, even, like
 paire, *n. f.*, pair, couple
 paisible, *adj.*, peaceful, quiet
 paisiblement, *adv.*, peacefully
 paix, *n. f.*, peace, quiet
 pâle, *adj.*, pale
 pâleur, *n. f.*, paleness
 palier, *n. m.*, landing-place
 pâlir, *v. n.*, to turn pale
 palmier, *n. m.*, palm-tree
 palpablement, *adv.*, palpably
 palper, *v. a.*, to feel, to finger
 palpitant, -e, *adj.*, palpitating, panting
 palpiter, *v. n.*, to palpitate, to throb
 pan, *n. m.*, flap, side, piece of wall
 panier, *n. m.*, basket
 panique, *n. f.*, panic, sudden fright
 pansoment, *n. m.*, dressing of wounds, grooming of a horse
 panser, *v. a.*, to dress wounds, to groom a horse
 papier, *n. m.*, paper
 papier à filtrer, filter paper
 papier à filtrer durci, hard filter paper
 paquet, *n. m.*, bundle, package
 par, *prep.*, by, through, out of, about, into, from, for, at, with, during
 parachever, *v. a.*, to complete
 par-dessus, *prep.*, over, above
 par-dessous, *prep.*, under, underneath
 par-ci, par-là, *prep.*, here and there
 paraître, *v. n.*, to appear, to be visible, to seem, to look, to be published
 parceller, *v. a.*, to portion out
 parce que, *conj.*, because, inasmuch as
 parchemin, *n. m.*, parchment

- parcourir, v. a.*, to go over, to run over, to look over, to peruse
pardon, n. m., forgiveness, pardon
pardonnable, adj., excusable, pardonable
pardonner, v. a., to pardon, to forgive
pareil, -le, adj., like, alike, similar, such
pareil, n. m., equal, match
pareillement, adv., similarly, likewise, too
parent, n. m., relation, relative
parenté, n. f., relationship
parenthèse, n. f., parenthesis
parer, v. a., to adorn, to guard, to ward off
se parer, v. r., to adorn one's self, to dress
 paresse, n. f., laziness, idleness
 paresseu-x, -se, adj., lazy, idle, indolent
parfaire, v. a., to perfect, to make up
parfait, -e, adj., perfect, complete
parfaitement, adv., perfectly, exactly
parfois, adv., sometimes, now and then
parfum, n. m., perfume, odor
parfumer, v. a., to perfume, to scent
parlementer, v. n., to parley
parler, v. n., to speak, to converse
parmi, prep., among, amongst, amid, amidst
paroi, n. f., wall, partition
parole, n. f., word, speech, promise, parole
parsemer, v. a., to strew, to spread
part, n. f., share, part, side
 (à part, apart, aside; quelque part, somewhere)
partage, n. m., share, lot, partition, division
partager, v. a., to share, to divide, to parcel, to participate in
parti, n. m., party, side, cause, resolution, advantage
partial, -e, adj., partial
partialement, adv., partially
partialité, n. f., partiality
participer, v. n., to partake, to participate
particulariser, v. a., to particularize
particularité, n. f., particularity, particular
particule, n. f., particle
particulier, -ère, adj., particular, peculiar singular
particulièrement, adv., particularly, especially
partie, n. f., part, match, project
partiel, -le, adj., partial
partiellement, adv., partially
partir, v. n., to set out, to go away, to depart
partout, adv., everywhere
partout où, wherever
parure, n. f., attire, dress, ornament
parvenir, v. n., to attain, to succeed, to arrive, to come
pas, n. m., step, footstep, progress
pas, adv., no, not, not any
 (presque pas, scarcely any)
pas du tout, not at all
passablement, adv., passably, tolerably
passage, n. m., passage, transition
passag-er, -ère, adj., passing, transient, fugitive, transitory
passagèrement, adv., transiently, for a short time
passé, n. f., pass, situation
passé, -e, adj., past, gone, over
passé, n. m., past, time past
passer, v. a., to pass, to be considered, to cross, to exceed
passer, v. n., to pass by, to pass along, to pass away
se passer, v. r., to happen, to do without

passé-temps, n. m., pastime
passion, n. f. passion, love
passionnément, adv., passionately,
 fondly
passivement, adv., passively
passivité, n. f., passiveness, passivity
passoire, n. f., strainer
pastille, n. f., lozenge, pill, tablet
pâte, n. f., paste, dough
patent, -e, adj., patent, obvious
patente, -e, adj. licensed, patented
pâteu-x, -se, adj., clammy, muddy,
 pasty
pathétiquement, adv., pathetically
patiemment, adv., patiently
patience, n. f., patience, forbearance
patient, -e, adj., patient, enduring
patienter, v. n., to be patient, to take
 patience
patte, n. f., foot of a glass, paw of
 animal
paupière, n. f., eyelid, eyelash
pause, n. f., pause, stop, rest
pauser, v. a., to pause
pauvre, adj., poor, needy, wretched
pauvrement, adv., poorly
pauvreté, n. f., poverty
pavage, n. m., pavement, paving
pavé, n. m., paving-stone, pavement
paver, v. a., to pave
pavot, n. m., poppy
paye, n. f., pay, salary
payement, n. m., payment
payer, v. a., to pay, to pay for
pays, n. m., country, home
paysage, n. m., landscape
peau, n. f., skin, peel
pêche, n. f., peach
pêche, n. f., fishing
pêché, n. m., sin
pêcher, v. n., to sin
pêcher, v. a., to fish
peigne, n. m., comb
peigner, v. a., to comb

peindre, v. a., to paint, to describe, to
 depict
peine, n. f., punishment, pain, trouble,
 affliction
 (*avoir peine, to have difficulty in*)
 à peine, hardly, scarcely)
peiné, -e, adj., grieved, laboured
peiner, v. n., to labor, to toil
peint, -e, adj., painted
peinture, n. f., painting, paint
pêle-mêle, adv., pell-mell, confusedly
peler, v. a., to strip off the hair, to
 peel
pelle, n. f., shovel
penchant, n. m., slope, inclination,
 propensity
penchant, -e, adj., sloping
pencher, v. a., v. n., to incline, to lean,
 to be inclined
se pencher, v. r., to stoop, to bend
 over
pendant, prep., during
pendant que, conj., while, whilst
pendant, n. m., counterpart
pendant, -e, adj., hanging
pendre, v. a., to hang, to suspend
pendu, -e, adj., hung
pendule, n. f., clock
pendule, n. m., pendulum
pénétrant, -e, adj., penetrating, pierc-
 ing, keen
pénétrer, v. a., to penetrate, to enter,
 to pervade
pénible, adj., painful, laborious
péniblement, adv., painfully, labor-
 iously
pénitence, n. f., penitence, penance
pénitent, -e, adj., penitent, repentant
pensant, -e, adj., thinking
pensée, n. f., thought, idea
penser, v. a., to think, to think of
penseur, n. m., thinker
pente, n. f., slope, inclination

- pépin**, *n. m.*, kernel, stone or seed of fruit
perçant, *-e, adj.*, piercing, sharp
perce-bouchon, *n. m.*, cork borer
percé, *-e, adj.*, pierced, bored
percer, *v. a.*, to pierce, to bore, to break through
percevoir, *v. a.*, to perceive, to receive, to collect
perchlorure, *n. m.*, bichloride, perchloride
perdant, *-e, adj.*, loser, losing
perdre, *v. a.*, to lose, to waste, to spoil
se perdre, *v. r.*, to be lost, to lose one's way, to stray, to disappear
perdu, *-e, adj.*, lost, ruined
père, *n. m.*, father
péremptoire, *adj.*, peremptory
perfectionnement, *n. m.*, improvement
perfectionner, *v. a.*, to improve, to perfect
perfidie, *adj.*, treacherous, false
perfidement, *adv.*, treacherously, basely
perfidie, *n. f.*, perfidy, treachery
perforant, *-e, adj.*, perforating
perforer, *v. a.*, to perforate
péril, *n. m.*, peril, danger, risk
périlleusement, *adv.*, perilously, dangerously
périlleux, *-se, adj.*, perilous, dangerous
période, *n. f.*, period, revolution
périodique, *adj.*, periodic, periodical
périodiquement, *adv.*, periodically
péripétie, *n. f.* turn of fortune, event, catastrophe
périphérie, *n. f.*, periphery
périr, *v. n.*, to perish
périssable, *adj.*, perishable
perle, *n. f.*, pearl, bead
perle de borax, *n. f.*, borax bead
perlé, *-e, adj.*, pearled, beady
perméabilité, *n. f.*, permeability
permettre, *v. a.*, to permit, to allow
se permettre, *v. r.* to allow one's self, to indulge
permis, *-e, adj.*, lawful
permis, *n. m.*, permit, license
permuter, *v. a.*, to exchange
pernicieusement, *adv.*, perniciously
pernicieux, *-se, adj.*, pernicious, injurious
perpendiculaire, *adj.*, perpendicular
perpendiculairement, *adv.*, perpendicularly
perpétuel, *-le, adj.*, perpetual
perpétuellement, *adv.*, perpetually
perpétuer, *v. a.*, to perpetuate
se perpétuer, *v. r.*, to be perpetuated
perplexe, *adj.*, perplexed, perplexing
persévérer, *v. n.*, to persevere
persil, *n. m.*, parsley
persistance, *n. f.*, persistence, persistency
persister, *v. n.*, to persist
personne, *n. f.*, person
personne, *pron. m.*, nobody, no one, any one
personnel, *-le, adj.*, personal
personnel, *n. m.*, staff of an establishment
persuader, *v. a.*, to persuade
se persuader, *v. r.*, to convince one's self
perte, *n. f.*, loss, waste
pertinemment, *adv.*, pertinently
pesage, *n. m.*, weighing
pesamment, *adv.*, heavily, weightily
pesant, *-e, adj.*, heavy, weighty
pesanteur, *n. f.*, weight, heaviness
pesée, *n. f.*, weighing
 (methode par pesée, gravimetric method)
peser, *v. a., v. n.*, to weigh, to ponder, to be heavy, to bear upon
peste, *n. f.*, pest, torment, plague
pétillant, *-e, adj.*, crackling, sparkling

pétitement, *n. m.*, crackling, sparkling

pétiller, *v. n.*, to crackle, to sparkle

petit, *-e, adj.*, small, little, short

petitesse, *n. f.*, smallness, meanness

pétitionner, *v. a.*, to petition

pétri, *-e, adj.*, kneaded

pétrifier, *v. a.*, to petrify

pétrir, *v. a.*, to knead

pétrole, *n. m.*, gasoline

peu, *adv.*, little, few

(à peu près, nearly about)

peuplé, *-e, adj.*, peopled, stocked

peuple, *n. m.*, people, nation

peupler, *v. a.*, to people, to populate

peuplier, *n. m.*, poplar

peur, *n. f.*, fear fright

peureux, *-se, adj.*, fearful

peut-être, *adv.*, perhaps, may be

phénomène, *n. m.*, phenomenon

phosphore, *n. m.*, phosphorus

phosphoreux, *-se, adj.*, phosphorous

phosphorique, *adj.*, phosphoric

physique, *n. f.*, physics

physique, *adj.*, physical

physiquement, *adv.*, physically

phthaléine du phénol, phenolphthalein

pic, *n. m.*, pickaxe

(à pic, perpendicularly)

picrique, *adj.*, picric

pièce, *n. f.*, piece, apartment

pied, *n. m.*, foot, leg of furniture

piège, *n. m.*, trap, snare

pierre, *n. f.*, stone, calculus

piétinement, *n. m.*, stamping

piétiner, *v. a.*, to stamp, to crush with

the feet

pieusement, *adv.*, piously

pignon, *n. m.*, pinion

pile, *n. f.*, heap, pile, battery

pile étalon, *n. f.*, normal cell

pilé, *-e, adj.*, crushed, ground

piller, *v. a.*, to pound, to grind

pilier, *n. m.*, pillar

piller, *v. a.*, to plunder

pilon, *n. m.*, pestle

pilonner, *v. a.*, to pound

piloter, *v. a.*, to pilot, to guide

pilule, *n. f.*, pill

piment, *n. m.*, pimento, capsicum

pin, *n. m.*, pine tree

pince, *n. f.*, pliers, tongs, clamp

pince à ressort, *n. f.*, spring clamp

pince à vis, *n. f.*, screw clamp

pinceau, *n. m.*, brush

pincée, *n. f.*, pinch

pincer, *v. a.*, to pinch, to nip

piquant, *-e, adj.*, biting, prickly, sharp

piquer, *v. a.*, to prick, to puncture, to

sting, to spur

pique, *n. f.*, pricking, sting, puncture

pire, *adj., n. m.*, worse, worst

pis, *adj., n. m.*, worse, worst

pissette, *n. f.*, wash bottle

piteusement, *adv.*, piteously, sadly

pitoyable, *adj.*, pitiful

pitoyablement, *adv.*, pitifully

pittoresque, *adj.*, picturesque

pivoter, *v. n.*, to turn on a pivot

placage, *n. m.*, plating (of metals),

veneering (of wood)

placement, *n. m.*, placing, sale, investment

placer, *v. a.*, to place, to put, to set

plafond, *n. m.*, ceiling

plage, *n. f.*, shore

plaider, *v. a.*, to plead, to argue

plaie, *n. f.*, sore, wound

plain, *-e, adj.*, flat, open

plaindre, *v. a.*, to pity

se plaindre, *v. r.*, to complain

plaine, *n. f.*, plain

plainte, *n. f.*, complaint

plaire, *v. n.*, to please

se plaire à, *v. r.*, to take pleasure in

plaisamment, *adv.*, pleasantly

plaisant, *-e, adj.*, pleasant

plaisanter, *v. n.*, to joke

- plaisir, *n. m.*, pleasure
 plan, *n. m.*, plane, plan, design
 plan, -e, *adj.*, plain, level
 planche, *n. f.*, plank, plate
 plancher, *n. m.*, floor
 planer, *v. n.*, to hover, to soar
 planer, *v. a.*, to plane, to make smooth
 plantage, *n. m.*, planting
 planter, *v. a.*, to plant
 plaque, *n. f.*, plate, slab
 plaque chauffante, hot plate
 plaque en porcelaine, porcelain plate
 plaque filtrante, filter plate
 plaque opaline, milk glass plate
 plaqué, -e, *adj.*, plated
 plat, *n. m.*, dish
 plat, -e, *adj.*, flat
 platine, *n. m.*, platinum
 platiné, -e, *adj.*, platinized
 plâtrage, *n. m.*, plastering
 plâtre, *n. m.*, plaster
 plâtré, -e, *adj.*, plastered
 plâtrer, *v. a.*, to plaster
 plein, -e, *adj.*, full
 pleinement, *adv.*, fully
 pleurer, *v. n.*, to weep
 pleurs, *n. m. plur.*, tears
 pleuvoir, *v. imp.*, to rain
 pli, *n. m.*, fold, crease
 pliable, *adj.*, pliable, flexible
 plié, -e, *adj.*, folded
 plier, *v. a.*, to fold, to bend
 plier, *v. n.*, to yield
 plomb, *n. m.*, lead, plumb-line, plum-
 met
 plombagine, *n. f.*, plumbago
 plombé, -e, *part.*, leaded
 plongé, -e, *adj.*, immersed, dipped
 plongeur, -e, *adj.*, plunging, dipping
 plonger, *v. a.*, to dip, to immerse
 plonger, *v. n.*, to dive
 ployer, *v. a.*, to bend
 se ployer, *v. r.*, to bend, to give way
 pluie, *n. f.*, rain
 plume, *n. f.*, pen, feather
 plupart, *n. f.*, most, most part
 pluriel, -le, *adj.*, plural
 plus, *adv.*, more, most, moreover
 plusieurs, *pron. adj.* several
 plutôt, *adv.*, rather sooner
 poche, *n. f.*, pocket, bag
 poêle, *n. m.*, stove
 poida, *n. m.*, weight
 poignée, *n. f.*, handful
 poil, *n. m.*, hair of animals
 poindre, *v. n.*, to dawn, to break
 point, *adv.*, no, not, not at all
 point d'ébullition, *n. m.*, boiling point
 point de fusion, *n. m.*, melting point
 pointe, *n. f.*, point
 pointilleu-x, -se, *adj.*, particular
 pointu, -e, *adj.*, sharp, pointed
 poire, *n. f.*, pear
 pois, *n. m.*, pea
 poisson, *n. m.*, fish
 poitrine, *n. f.*, chest, breast
 poivre, *n. m.*, pepper
 poix, *n. f.*, pitch
 pôle, *n. m.*, pole
 poli, -e, *adj.*, polished, refined
 polir, *v. a.*, to polish
 pommade, *n. f.*, pomatum, salve
 pomme, *n. f.*, apple, ball
 pompe, *n. f.*, pump
 pomper, *v. a.*, to pump
 ponce, *n. f.* pumice
 (pierre ponce, pumice stone)
 ponctué, -e, *adj.*, punctuated
 ponctuel, -le, *adj.*, punctual
 ponctuer, *v. a.*, to punctuate
 pont, *n. m.*, bridge
 populaire, *adj.*, popular
 populairement, *adv.*, popularly
 populariser, *v. a.*, to make popular
 populeu-x, -se, *adj.*, populous
 porc, *n. m.*, hog, pork
 poreu-x, -se, *adj.*, porous
 port, *n. m.*, port, postage

porte, *n. f.*, door
 portée, *n. f.*, reach of the hand
 porter, *v. a.*, to carry, to wear
 porter, *v. n.*, to bear
se porter, *v. r.*, to be (of health)
 porteu-r, -se, *adj.*, bearer
 portion, *n. f.*, share, part
 pose, *n. f.*, laying, attitude
 poser, *v. a.*, to set
 posséder, *v. a.*, to possess
 possible, *n. m.*, utmost
 postérieurement, *adv.*, subsequently
 potable, *adj.*, drinkable
 potasse, *n. f.*, potash
 poteau, *n. m.*, post
 pouce, *n. m.*, thumb, inch
 poudre, *n. f.* dust, powder
 poudreu-x, -se, *adj.*, dusty, powdery
 pouls, *n. m.*, pulse
 poumon, *n. m.*, lung
 pour, *prep.*, for, on account of, in order to, towards, to
 pour autant que, *conj.*, insofar as
 pour peu que, *conj.*, ever so little
 pour que, *conj.*, in order that, so that
 pourquoi, *adv., conj.*, why, wherefore
 pourri, -e, *adj.*, rotten
 pourrir, *v. n.*, to rot
 pourriture, *n. f.*, rot, putrefaction
 poursuite, *n. f.* pursuit
 poursuivre, *v. a.*, to pursue
se poursuivre, *v. r.*, to proceed
 pourtant, *adv.*, however, yet
 pourtour, *n. m.*, periphery
 pourvoir, *v. n.*, to see to, to supply
se pourvoir, *v. r.*, to provide one's self
 pourvu que, *conj.*, provided that
 poussée, *n. f.*, push, pressure
 pousser, *v. a.*, to push
 pousser, *v. n.*, to grow
 poussière, *n. f.*, dust
 poussiéreu-x, -se, *adj.*, dusty
 pouvoir, *v. n.*, to be able, can, may
 pouvoir, *n. m.*, power

pratique, *n. f.*, practice
 pratiquement, *adv.*, practically
 pratiquer, *v. a.*, to practice
se pratiquer, *v. r.*, to be practiced
 préalable, *adj.*, previous
 (au préalable, previously)
 préalablement, *adv.*, previously
 précaire, *adj.*, precarious
se précautionner, *v. r.*, to guard against
 précédemment, *adv.*, previously
 précédent, -e, *adj.*, precedent, preceding
 précéder, *v. a.*, to precede
 précieusement, *adv.*, preciously
 précieux-x, -se, *adj.*, precious
 précipitamment, *adv.*, hurriedly
 précipité, -e, *adj.*, precipitated, hasty
 précipité, *n. m.*, precipitate
 précipiter, *v. a.*, to precipitate
se précipiter, *v. r.*, to rush
 précis, *n. m.*, summary
 précis, -e, *adj.*, precise, exact
 précisément, *adv.*, precisely
 préciser, *v. a.*, to state precisely
 préconçu, -e, *adj.*, preconceived
 prédestiner, *v. a.*, to predestinate
 prédire, *v. a.*, to predict
 préférablement, *adv.*, preferably
 préférer, *v. a.*, to prefer
 préjugé, *n. m.*, prejudice
 prélever, *v. a.*, to deduct, to take
 préliminaire, *n. m., adj.*, preliminary
 prémédité, -e, *adj.*, premeditated
 préméditer, *v. a.*, to premeditate
 premi-er, ère, *adj.*, first
 premièrement, *adv.*, first
 prémunir, *v. a.*, to forewarn
se prémunir, *v. r.*, to be provided
 prendre, *v. a.*, to take
se prendre, *v. r.*, to solidify, to congeal, to take each other
se préoccuper, *v. r.*, to be preoccupied with

- préparatif**, *n. m.*, preparation
préparer, *v. a.*, to prepare
se préparer, *v. r.*, to get ready
près, *prep.*, near, by
présager, *v. a.*, to presage, to portend
prescrire, *v. a.*, to prescribe
présenter, *v. a.*, to present
se présenter, *v. r.*, to appear
presque, *adv.*, almost
pressant, *-e, adj.*, pressing
pressé, *-e, adj.*, in a hurry
pressentir, *v. a.*, to have a presentiment of
presser, *v. a.*, to press, to squeeze
se presser, *v. r.*, to be in a hurry, to press
prestement, *adv.*, quickly
présure, *n. f.*, rennet
prêt, *-e, adj.*, ready
prétendre, *v. a.*, to claim
prétendre, *v. n.*, to pretend
prêter, *v. a.*, to lend
se prêter, *v. r.*, to lend one's self, to favor
prétexter, *v. a.*, to pretend
preuve, *n. f.*, proof
prévaloir, *v. n.*, to prevail
prévenir, *v. a.*, to warn
prévoir, *v. a.*, to foresee
prier, *v. a.*, to pray
principe gras, fatty principle
principe immédiat, constituent
principalement, *adv.*, chiefly
printemps, *n. m.*, spring
prise, *n. f.*, taking
 (prise d'essai, sample)
privé, *-e, adj.*, deprived
privilegié, *-e, adj.*, privileged
prix, *n. m.*, price
probablement, *adv.*, probably
procédé, *n. m.*, process, method
procédé de contact, contact process
procéder, *v. n.*, to proceed
prochain, *n. m.*, neighbor
prochain, *-e, adj.*, near, nearest, next
prochainement, *adv.*, shortly
proche, *adj.*, near, next
proclamer, *v. a.*, to proclaim
se procurer, *v. r.*, to procure
prodigieux, *-x, -se, adj.*, prodigious
prodiguer, *v. a.*, to lavish
producteur, *-rice, adj.*, productive, producing
productif, *-ve, adj.*, productive
produire, *v. a.*, to produce
produit, *n. m.*, produce, product, yield
profit, *n. m.*, profit
profiter, *v. a.*, to profit
profond, *-e, adj.*, deep
profondément, *adv.*, deep, soundly
profondeur, *n. f.*, depth
profusément, *adv.*, profusely
proie, *n. f.*, prey
projet, *n. m.*, project, plan
projeter, *v. a.*, to project, to plan
prolongement, *n. m.*, prolongation
prolonger, *v. a.*, to prolong, to lengthen
promesse, *n. f.*, promise
promptement, *adv.*, promptly
prononcer, *v. a.*, to pronounce
propager, *v. a.*, to propagate
se propager, *v. r.*, to be propagated, to spread
propice, *adj.*, favorable
propos, *n. m.*, discourse, talk
 (à propos de, with respect to)
se proposer de, *v. r.*, to intend
propre, *adj.*, own, clean, right
proprement, *adv.*, properly, neatly
propreté, *n. f.*, cleanliness
propriété, *n. f.*, property
proscrire, *v. r.*, to proscribe
prospère, *adj.*, prosperous
protéger, *v. a.*, to protect
prouver, *v. a.*, to prove
provoquer, *v. a.*, to provoke
prudemment, *adv.*, prudently

puant, -e, *adj.*, stinking
 publier, *v. a.*, to publish
 publiquement, *adv.*, publicly
 puer, *v. n.*, to stink
 puis, *adv.*, then, afterwards
 puiser, *v. a.*, to draw, to imbibe
 puisque, *conj.*, since
 puissamment, *adv.*, powerfully
 puissance, *n. f.* power
 puissant, -e, *adj.*, powerful
 puits, *n. m.*, well
 pulluler, *v. n.*, to swarm
 pulvériser, *v. a.*, to pulverize
 punir, *v. a.*, to punish
 pur, -e, *adj.* pure
 purement, *adv.*, purely
 pureté, *n. f.*, purity
 purifier, *v. a.*, to purify
 purin, *n. m.*, liquid manure
 pyridique, *adj.*, of pyridine series

Q

quadrillé, -e, *adj.*, checkered, ruled in squares
 quadroxalate, *n. m.*, tetroxalate
 qualifiable, *adj.*, that can be called
 qualifié, -e, *adj.*, qualified
 qualifier, *v. a.*, to qualify
 quand, *adv.*, when
 (depuis quand, since when)
 quand, *conj.*, though, although
 (quand même, even if)
 quant à, *adv.*, as to, respecting
 quantité, *n. f.*, quantity
 quarantaine, *n. f.*, about forty
 quarante, *n. m.*, *adj.*, forty
 quarantième, *adj.*, fortieth
 quart, *n. m.*, quarter, fourth
 quartier, *n. m.*, quarter, fourth part
 quatorze, *adj.*, fourteen
 quatorzième, *adj.*, fourteenth
 quatre, *adj.*, four
 quatre-vingtième, *adj.*, eightieth
 quatre-vingts, *adj.*, eighty

quatrième, *adj.*, fourth
 que, *rel. pron.*, whom, that, which, what
 que, *conj.*, that, how, as, when
 quel, -le, *adj.*, what
 quelconque, *adj.*, whatever, any
 quelque, *adj.*, some, any, whatever
 quelque, *adv.*, however
 quelquefois, *adv.*, sometimes
 quelques-uns, -unes, *n. m. plur.*, some people, some
 quelqu'un, *n. m.*, some one
 querelle, *n. f.*, quarrel
 quereller, *v. a.*, to quarrel with
 questionnaire, *n. m.*, examination questions, quiz
 questionner, *v. a.*, to question
 quête, *n. f.*, quest, collection
 queue, *n. f.*, tail
 qui, *rel. pron.*, who, whoever, whom
 quiconque, *pron.*, whoever, whomsoever
 quinoléique, *adj.*, of quinoline series
 quinzaine, *n. f.*, about fifteen
 quinze, *adj.*, fifteen
 quinzième, *adj.*, fifteenth
 quittance, *n. f.*, receipt
 quitte, *adj.*, discharged, quit
 quitter, *v. a.*, to quit, to leave
 quoi, *pron.*, which, what
 quoique, *conj.*, although
 quotidien, -ne, *adj.*, daily

R

rabaïs, *n. m.*, reduction, diminution
 rabaisser, *v. a.*, to lower, to abate
 rabattre, *v. a.*, to bring down
 rabougri, -e, *adj.*, stunted
 rabougri, *v. n.*, to be stunted
 raccommodage, *n. m.*, mending
 raccommodement, *n. m.*, reconciliation
 raccommoder, *v. a.*, to mend
 raccourci, -e, *adj.*, shortened
 raccourcir, *v. a.*, to shorten

- raccourcissement**, *n. m.*, shortening
raccrocher, *v. a.*, to hook again
race, *n. f.*, race, breed
racheter, *v. a.*, to buy back
racine, *n. f.*, root
racler, *v. a.*, to scrape
raclure, *n. f.* scrapings
raconter, *v. a.*, to relate
radicalement, *adv.*, radically
radié, *-e, adj.*, radiated
radoucir, *v. a.*, to soften
raffermir, *v. a.*, to harden, to strengthen
se raffermir, *v. r.*, to grow stronger
raffinage, *n. m.*, refining
raffiné, *-e, adj.*, refined, purified
raffiner, *v. a.*, to refine
raffinerie, *n. f.*, refinery, sugar refinery
rafraîchir, *v. a.*, to cool, to refresh
rafraîchissant, *-e, adj.*, refreshing,
 cooling
raide, *adj.*, stiff
raideur, *n. f.*, stiffness
raidir, *v. a., v. n.*, to stiffen
raie, *n. f.*, line, ray
rainure, *n. f.*, groove
raisin, *n. m.*, grapes
raison, *n. f.*, reason
 (*à raison de*, at the rate of)
 (*en raison de*, by reason of)
raisonnable, *adj.*, rational, reasonable
raisonnablement, *adv.*, reasonably
raisonnement, *n. m.*, reasoning
raisonner, *v. n.*, to reason
rajuster, *v. a.*, to readjust
ralentir, *v. a., v. n.*, to slacken
ralliement, *n. m.*, rallying
rallier, *v. a.*, to rally
rallonge, *n. f.*, extension piece
rallonger, *v. a.*, to make longer
rallumer, *v. a.*, to rekindle
ramasser, *v. a.*, to gather, to pick up
rame, *n. f.*, oar, ream of paper
ramener, *v. a.*, to bring back
se ramifier, *v. r.*, to branch out
ramollir, *v. a., v. n.*, to soften
ramollissement, *n. m.*, softening
rampant, *-e, adj.*, creeping
ramper, *v. n.*, to creep
rance, *adj.*, rancid
rancir, *v. n.*, to grow rancid
rang, *n. m.*, row, rank, order
rangé, *-e, adj.*, steady, arranged in
 rows
rangée, *n. f.*, row
ranger, *v. a.*, to arrange, to set in
 order
se ranger, *v. r.*, to step aside
ranimer, *v. a.*, to restore
 râper, *v. a.*, to rasp, to grate
rapetisser, *v. a.*, to belittle, to make
 smaller
rapide, *adj.*, rapid, swift
rapidement, *adv.*, swiftly
rappeler, *v. a.*, to recall
se rappeler, *v. r.*, to recollect
rapport, *n. m.*, relation, ratio
 (*par rapport à*, with reference to)
rapporter, *v. a.*, to bring back
se rapporter à, *v. r.*, to refer to
rapprochement, *n. m.*, bringing to-
 gether, comparison
rapprocher, *v. a.*, to bring together
se rapprocher, *v. r.*, to draw near
rapure, *n. f.*, rasping
rare, *adj.*, rare, unusual
raréfier, *v. a.*, to rarefy
rarement, *adv.*, seldom
rareté, *n. f.*, scarcity
ras, *-e, adj.*, close, short-haired
raser, *v. a.*, to shave, to pull down
rasoir, *n. m.*, razor
rassasier, *v. a.*, to satiate
rassemblement, *n. m.*, assembling
rassembler, *v. a.*, to assemble
se rassembler, *v. r.*, to assemble
rassurant, *-e, adj.*, reassuring

rassurer, *v. a.*, to reassure
 ratatiné, -e, *adj.*, shriveled
 rate, *n. f.*, spleen
 râteau, *n. m.*, rake
 râtelier, *v. a.*, to rake
 râtelier, *n. m.*, rack
 rationnel, -le, *adj.*, rational
 rationner, *v. a.*, to put on rations
 rattacher, *v. a.*, to fasten, to attach
se rattacher, v. r., to be fastened, to resemble
 rattraper, *v. a.*, to overtake
 rature, *n. f.*, erasure
 raturer, *v. a.*, to erase
 rauque, *adj.*, hoarse
 ravager, *v. a.*, to spoil
 ravir, *v. a.*, to carry off, to delight
se raviser, v. r., to change one's mind
 ravissant, -e, *adj.*, delightful
 raviver, *v. a.*, to revive
 rayé, -e, *adj.*, streaked, crossed out
 rayer, *v. a.*, to scratch, to cross out
 rayon, *n. m.*, ray, beam, radius, shelf
 rayonnant, -e, *adj.* radiant, shining
 rayonner, *v. n.*, to radiate, to shine
 rayure, *n. f.*, stripe, scratch
 réacti-f, -ve, *adj.*, reactive
 réactif, *n. m.*, reagent
 réactionnel, -le, *adj.*, reacting
 réagir, *v. a.*, to react
 réalisable, *adj.*, that can be made real
 réaliser, *v. a.*, to realize
 réalité, *n. f.*, reality
 rebâtir, *v. a.*, to rebuild
 rebondi, -e, *adj.*, plump, round
 rebord, *n. m.*, brim, ledge
 reboucher, *v. a.*, to stop up again, to cork again
 rebours, *n. m.*, wrong side, reverse
 rebuter, *v. a.*, to repulse, to reject
 récalcitrant, -e, *adj.*, stubborn
 récapituler, *v. a.*, to sum up
 recèlement, *n. m.*, concealing
 recéler, *v. a.*, to conceal

récemment, *adv.*, recently
 recensement, *n. m.*, census
 récent, -e, *adj.*, recent
 recette, *n. f.*, receipt
 recevoir, *v. a.*, to receive
 rechargement, *n. m.*, reloading, recharging
 recharger, *v. a.*, to recharge
 réchauffage, *n. m.*, warming up
 réchauffer, *v. a.*, to warm up
 recherche, *n. f.*, research, search
 recherché, -e, *adj.*, choice, in great demand
 rechercher, *v. a.*, to seek, to investigate
 récipé, *n. m.*, recipe
 réciproque, *adj.*, reciprocal
 réciproquement, *adv.*, reciprocally
 récit, *n. m.*, recital, narration
 réciter, *v. a.*, to recite
 réclame, *n. f.* advertising
 réclamer, *v. a.*, to claim back
 recoin, *n. m.*, corner
 récolte, *n. f.*, harvest
 récolter, *v. a.*, to reap
 recommandable, *adj.*, recommendable
 recommander, *v. a.*, to recommend
 recommencer, *v. a.*, to begin again
 récompense, *n. f.*, reward
 récompenser, *v. a.*, to reward
 reconcilier, *v. a.*, to reconcile
se reconcilier v. r., to be reconciled
 reconnaissance, *n. f.*, gratitude
 reconnaissant, -e, *adj.*, grateful
 reconnaître, *v. a.*, to recognize
 recours, *n. m.*, recourse
 recouvrement, *n. m.*, recovery
 recouvrer, *v. a.*, to recover
 recouvrir, *v. a.*, to cover again
 rectangulaire, *adj.*, rectangular
 rectificateur, *n. m.*, rectifier
 rectifier, *v. a.*, to rectify
 reçu, *n. m.*, receipt
 recueilli, -e, *part.*, collected, gathered

- recueillir, *v. a.*, to gather
se recueillir, *v. r.*, to collect one's thoughts
 recuite, *n. f.*, annealing of metals or glass, reheating of liquids
 recul, *n. m.*, recoil
 reculé, -e, *part.*, distant
 reculer, *v. a.*, to defer
se reculer, *v. r.*, to draw back
 récupérer, *v. a.*, to recover
 rédacteur, *n. m.*, editor
 rédaction, *n. f.*, editing
 rédiger, *v. a.*, to edit
 redire, *v. a.*, to repeat
 redistribuer, *v. a.*, to distribute again
 redoublé, -e, *adj.*, redoubled
 redoubler, *v. a.*, to redouble, to increase
 redouter, *v. a.*, to dread
 redresser, *v. a.*, to straighten
 réducteur, *n. m.*, reductor
 réduire, *v. a.*, to reduce
 réel, -le, *adj.*, real
 réellement, *adv.*, really
 référer, *v. a.*, to refer
 réfléchi, -e, *adj.*, reflected, deliberate
 réfléchir, *v. a.*, to reflect
 réflecteur, *n. m.*, reflector
 reflet, *n. m.*, reflection, reflex
 refléter, *v. a.*, to reflect light
 refondre, *v. a.*, to melt again, to recast
 refonte, *n. f.*, recasting
 réformer, *v. a.*, to reform, to mend
 reformer, *v. a.*, to form again
 refoulement, *n. m.*, driving back
 refouler, *v. a.*, to drive back
 réfractaire, *adj.*, refractory
 réfrigérant, *n. m.*, condenser
 réfrigérant à air, air condenser
 réfrigérant ascendant, reflux condenser
 réfrigérant descendant, inclined condenser
 réfrigérant, -e, *adj.*, freezing
 réfringent, -e, *adj.*, refracting
 refroidir, *v. a.*, to cool
 refroidissement, *n. m.*, cooling
 refus, *n. m.*, refusal
 refuser, *v. a.*, to refuse
 regagner, *v. a.*, to regain, to recover
 régale, -e, *adj.*, royal
 (eau régale, aqua regia)
 regard, *n. m.*, look, glance
 regarder, *v. a.*, to look at
 régénérer, *v. a.*, to regenerate
 régir, *v. a.*, to govern
 règle, *n. f.*, rule, ruler
 réglé, -e, *adj.*, ruled, regulated
 règlement, *n. m.*, regulation
 réglementaire, *adj.*, regulatory
 réglementer, *v. a.*, to regulate, to make regulations
 régler, *v. a.*, to rule, to decide
 réglure, *n. f.*, ruling of paper
 régner, -e, *adj.*, reigning, prevailing
 règne, *n. m.*, reign, kingdom
 régner, *v. a.*, to rule
 regorgement, *n. m.*, overflowing
 regorger, *v. n.*, to overflow
 regretter, *v. a.*, to regret
 régulateur de chaleur, *n. m.*, thermoregulator
 régulat-eur, -rice, *adj.*, regulating
 réguli-er, -ère, *adj.*, regular
 régulièrement, *adv.*, regularly
 rehaussé, -e, *adj.*, heightened, set off
 rein, *n. m.*, kidney
 rejaillir, *v. n.*, to spurt out
 rejaillissement, *n. m.*, spouting
 rejet, *n. m.*, rejection
 rejetale, *adj.*, rejectable
 rejeter, *v. a.*, to reject
 rejoindre, *v. a.*, to rejoin, to overtake
 réjouir, *v. a.*, to rejoice
se réjouir, *v. r.*, to rejoice
 relâche, *n. m.*, discontinuance

- relâchement**, *n. m.*, slackening, abatement
relâcher, *v. a.*, to slacken, to yield, to give up
relais, *n. m.*, relay
relayer, *v. a.*, to relieve any one
reléguer, *v. a.*, to relegate
relève, *n. m.*, abstract, statement
relèvement, *n. m.*, account, rising
relever, *v. a.*, to raise again, to set off
relier, *v. a.*, to bind
relire, *v. a.*, to read over
reluire, *v. n.*, to shine
reluisant, *-e, adj.*, shining
remarquable, *adj.*, remarkable
remarque, *n. f.*, notice
remarquer, *v. a.*, to mark again, to observe
rembourrer, *v. a.*, to stuff
se rembrunir, *v. r.*, to get darker
remède, *n. m.*, remedy
remédier, *v. a.*, to remedy
remercier, *v. a.*, to thank
remettre, *v. a.*, to put again, to put on again, to put off
se remettre, *v. r.*, to resume, to compose one's self
remise, *n. f.*, delivery, delay
remonter, *v. a., v. n.*, to go up again, to set up again, to wind a clock
remplacement, *n. m.*, replacing
remplacer, *v. a.*, to replace, to take the place of
se remplacer, *v. r.*, to be replaced
rempli, *-e, adj.*, full
remplir, *v. a.*, to refill
se remplir, *v. r.*, to become full
remporter, *v. a.*, to carry away
remuant, *-e, adj.*, stirring, turbulent
remuer, *v. a.*, to stir
rencontre, *n. f.*, encounter, meeting
rencontrer, *v. a.*, to meet
se rencontrer, *v. r.*, to meet
rendement, *n. m.*, yield
rendre, *v. a.*, to return, to yield
se rendre, *v. r.*, to go, to proceed, to yield
renfermer, *v. a.*, to shut up, to include
renflé, *-e, adj.*, swollen, inflated
renflement, *n. m.*, swelling, enlargement
renforcé, *-e, adj.*, strong, substantial
renforcement, *n. m.*, strengthening
renforcer, *v. a.*, to strengthen
renier, *v. a.*, to deny
reniflard, *n. m.*, valve to let in air
renom, *n. m.*, renown
renommé, *-e, adj.*, renowned
renommée, *n. f.*, fame
renommer, *v. a.*, to re-elect, to make famous
renoncement, *n. m.*, renouncing
renoncer, *v. a.*, to renounce, to waive
renouveler, *v. a.*, to renew
renouvellement, *n. m.*, renewal
renseignement, *n. m.*, information
renseigner, *v. a.*, to inform
rentrant, *-e, adj.*, re-entering
rentrée, *n. f.*, re-opening, re-entrance
rentrer, *v. a., v. n.*, to return, to bring in
renversé, *-e, adj.*, thrown down, inverted
renversement, *n. m.*, reversing
renverser, *v. a.*, to reverse, to turn upside down
se renverser, *v. r.*, to upset
renvoi, *n. m.*, sending back, return
renvoyer, *v. a.*, to send again, to send back
répandre, *v. a.*, to spill, to diffuse
répandre, *v. n.*, to propagate
se répandre, *v. r.*, to be spilt, to be distributed
répandu, *-e, adj.*, spilt, scattered
réparation, *n. f.*, repairing
réparer, *v. a.*, to repair
repas, *n. m.*, meal

- repasser, v. a.*, to pass again, to iron,
to look over
se repentir, v. r., to repent
repère, n. m., (point de repère, refer-
ence point, guiding point)
répéter, v. a., to repeat
répit, n. m., respite
remplacement, n. m., replacing
remplacer, v. a., to replace
repli, n. m., fold, crease
replier, v. a., to fold again
se replier, v. r., to fold one's self, to
fall back
réplique, n. f., reply
replonger, v. a., to dip again
répondre, v. a., to answer, to respond
réponse, n. f., answer
reporter, v. a., to carry back, to carry
forward
repos, n. m., rest
reposer, v. a., to rest, to place again
se reposer, v. r., to rest
repoussant, -e, adj., repulsive
repousser, v. a., to repel, to drive back
reprandre, v. a., to take again, to take
up
représentant, n. m., representative
représenter, v. a., to represent
se représenter, v. r., to fancy, to pre-
sent itself again
reprimant, -e, adj., repressive
reprimer, v. a., to repress
repris, -e, part., taken up again
reprise, n. f., resumption, recovery
 (à plusieurs reprises, several times)
reprocher, v. a., to reproach
reproduct-eux, -rice, adj., reproductive
reproductif, -ve, adj., reproductive
reproduire, v. a., to reproduce
se reproduire, v. r., to be reproduced,
to occur again
répudier, v. a., to repudiate
répugner, v. n., to be repugnant
requérir, v. a., to request, to summon
requête, n. f., request
requis, -e, part., requested, requisite
réseau, n. m., net, net-work
réserve, -e, adj., reserved, cautious
réserver, v. a., to reserve
résidu, n. m., settlement, residue
résiduaire, adj., residual, remaining
résine, n. f., resin, rosin, colophony
résineux, -se, adj., resinous
résistant, adj., tough, unyielding
résister, v. a., to resist, to oppose
résolu, -e, part., decided on, settled
résolu, -e, adj., resolute, determined
résolument, adv., resolutely
résonner, v. n., to resound
réSORber, v. a., to reabsorb
réSORption, n. f., reabsorption
résoudre, v. a., to resolve, to solve
se résoudre, v. r., to resolve
respectif, -ve, adj., respective
respectivement, adv., respectively
respirer, v. a., to breathe
resplendissant, -e, adj., resplendent
ressaisir, v. a., to seize again
ressemblance, n. f. resemblance
ressemblant, -e, adj., resembling
ressembler, v. a., to resemble
ressentir, v. a., to feel
resserrer, v. a., to bind together
ressort, n. m., spring, means
ressortir, v. n., to be set off
ressource, n. f., resource
restant, -e, adj., remaining
restant, n. m., remainder
restaurer, v. a., to restore
reste, n. m., rest, remainder, residue
rester, v. n., to remain
restituer, v. a., to restore
restreindre, v. a., to restrict, to limit
résultant, -e, adj., resulting
résulter, v. n., to result, to be the
consequence
résumé, n. m., summary
résumer, v. a., to sum up

- rétablir, v. a.**, to restore
rétablissement, n. m., reestablishment
retard, n. m., delay
retarder, v. a., to delay, to set back
retenir, v. a., to retain, to restrain, to remember
retentir, v. n., to resound
retentissant, -e, adj., resounding
réticence, n. f., reserve
rétine, n. f., retina
retirer, v. a., to withdraw
se retirer, v. r., to withdraw
retomber, v. n., to fall down again, to relapse
retour, n. m., return
retourner, v. a., v. n., to go back, to turn up
se retourner, v. r., to turn around
retracer, v. a., to retrace
retrait, n. m., withdrawal
retranchement, n. m., retrenchment, curtailment
retrancher, v. a., to retrench, to curtail, to subtract
rétréci, -e, adj., narrow, shrunk
rétrécir, v. a., to contract, to shrink
se rétrécir, v. r., to contract, to shrink
rétrécissement, n. m., contraction, shrinking
retremper, v. a., to temper again
retrouver, v. a., to find again
réunir, v. a., to reunite, to unite, to collect
se réunir, v. r., to unite, to gather
réussite, n. f., success
revanche, n. f., revenge
rêve, n. m., dream
réveil, n. m., waking
réveiller, v. a., to awake, to wake
se réveiller, v. r., to awake, to wake
révélat-eur, -rice, n., detector
révéler, v. a., to reveal, to detect
revenir, v. n., to come again, to come back
rêver, v. a., v. n., to dream, to long for
réverbère, n. m., reflector, street lamp
revers, n. m., back, reverse
revêtement, n. m., cover
revêtir, v. a., to clothe, to put on, to assume, to cover
revient, n. m., (prix de revient, cost price)
revivifier, v. a., to revive, to revivify
revoir, v. a., to see again, to revise
revue, n. f., review, magazine
rhomboèdre, n. m., rhombohedron
rhum, n. m., rum
rhume, n. m., cold
riant, -e, adj., smiling, cheerful
richement, adv., richly
richesse, n. f., riches, wealth
ricin, n. m., ricinus communis (huile de ricin, castor oil)
ride, n. m., wrinkle
ridé, -e, adj., wrinkled
rideau, n. m., curtain, screen
rider, v. a., to wrinkle
ridicule, adj., ridiculous
rien, n. m., nothing, trifle
rien, adv., nothing
rigide, adj., rigid, severe
rigidement, adv., rigidly, strictly
rigole, n. f., trench, little furrow
rigoureux-x, -se, adj., rigorous, severe
rigueur, n. f., rigor, severity
rincer, v. a., to rinse
rire, v. a., to laugh
risque, n. m., risk
risquer, v. a., to risk
rivage, n. m., shore
rivaliser, v. a., to rival, to compete
rivalité, n. f., rivalry
rive, n. f., shore, bank of a river
river, v. a., to rivet
rivière, n. f., river
riz, n. m., rice
robe, n. f., gown, coat of animals

robinet, *n. m.*, facet, stopcock
 robinet de purge, blow valve
 robinet de vidange, discharge valve
 roche, *n. f.*, rock
 rocher, *n. m.*, rock
 rodé, *-e, adj.*, ground to fit
 roder, *v. a.*, to grind
 rogner, *v. a.*, to clip
 rôle, *n. m.*, roll, part
 roman, *n. m.*, novel
 rompre, *v. a., v. n.*, to break, to snap
 off
 rompu, *-e, adj., part.*, broken, snapped
 rond, *-e, adj.*, round
 rond, *n. m.*, circle, ring
 rondelle, *n. f.*, ring, washer
 rondeur, *n. f.*, roundness, curve
 ronflement, *n. m.*, roaring, rumbling
 ronger, *v. a.*, to gnaw, to corrode
 rongeur, *adj.*, gnawing, corroding
 rose, *adj.*, rosy pink
 rosé, *-e, adj.*, rosy
 roseau, *n. m.*, reed
 rotateur, *adj.*, rotatory
 rôtir, *v. a.*, to roast
 roue, *n. f.*, wheel
 roue dentée, *n. f.*, cog wheel
 rouge, *adj.*, red
 rougeâtre, *adj.*, reddish
 rougeur, *n. f.*, redness, glow
 rougir, *v. a., v. n.*, to redden, to blush
 rouille, *n. f.*, rust
 rouillé, *-e, adj.*, rusty
 rouiller, *v. a.*, to rust
 se rouiller, *v. r.*, to rust, to get rusted
 rouir, *v. a.*, to steep, to ret
 rouissage, *n. m.*, retting
 roulage, *n. m.*, rolling
 rouleau, *n. m.*, roll, roller
 rouler, *v. a.*, to roll, to coil
 roulette, *n. f.*, small wheel
 route, *n. f.*, road, course
 rou-x, *-sse, adj.*, reddish, russet
 ruban, *n. m.*, ribbon

ruche, *n. f.*, hive
 rude, *adj.*, harsh, uneven, severe
 rudement, *adv.*, roughly, severely
 rudesse, *n. f.*, harshness, severity
 rue, *n. f.*, street
 ruier, *v. a.*, to fling, to hurl
 rugueu-x, *-se, adj.*, wrinkled, rough
 ruine, *n. f.*, ruin, decay
 ruineu-x, *-se, adj.*, ruinous
 ruisseau, *n. m.*, stream, rivulet
 ruisselant, *-e, adj.*, streaming, running
 ruisseler, *v. n.*, to stream, to trickle
 rupture, *n. f.*, rupture, breaking
 ruse, *n. f.*, artifice, trick
 rutilant, *-e, adj.*, rutilant

S

s', contraction for se
 sa, *adj. f.*, his, her, one's, its
 sable, *n. m.*, sand
 sablonneu-x, *-se, adj.*, sandy
 sac, *n. m.*, sack, bag
 saccade, *n. f.*, jerk
 saccadé, *-e, adj.*, jerky
 sacchareu-x, *-se, adj.*, saccharine
 sacrifier, *v. a.*, to sacrifice
 sage, *adj.*, wise
 sagement, *adv.*, wisely
 sagesse, *n. f.*, wisdom
 saigner, *v. a.*, to bleed
 saillant, *-e, adj.*, projecting
 saillir, *v. n.*, to project
 sain, *-e, adj.*, soundly
 sainement, *adv.*, soundly
 saisir, *v. a.*, to seize
 saisissable, *adj.*, seizable, attachable
 saisissant, *-e, adj.*, striking, startling
 saison, *n. f.*, season
 salaire, *n. m.*, salary
 sale, *adj.*, dirty, soiled
 salé, *-e, adj.*, salted
 salement, *adv.*, dirtily
 saler, *v. a.*, to salt
 saleté, *n. f.*, dirt

salin, -e, *adj.*, saline, salt
salir, *v. a.*, to soil
saliver, *v. n.*, to salivate
salle, *n. f.* hall, room
salpêtrière, *n. f.*, salpetre-works
salubre, *adj.*, salubrious
saluer, *v. a.*, to salute, to greet
sang, *n. m.*, blood
sanglant, *adj.*, bloody, bleeding
sangle, *n. f.*, strap
sangler, *v. a.*, to strap
sans, *prep.*, without, but for
sans que, *prep.*, without
santé, *n. f.*, health
saper, *v. a.*, to sap, to undermine
sapin, *n. m.*, fir tree
saponifier, *v. a.*, to saponify
sarrasin, *n. m.*, buckwheat
satisfaire, *v. a.*, to satisfy
satisfaisant, -e, *adj.*, satisfactory
satisfait, -e, *adj.*, satisfied
saturé, -e, *adj.*, saturated
 (non saturé, unsaturated)
saturer, *v. a.*, to saturate
sau-f, -ve, *adj.*, safe
sauf, *prep.*, save, except
saut, *n. m.*, jump, spring
sauter, *v. a.*, to jump
sauvage, *adj.*, savage, wild
sauvegarder, *v. a.*, to guard
sauver, *v. a.*, to save
se sauver, *v. r.*, to escape
savant, -e, *adj.*, learned
savant, *n. m.*, scholar
savoir, *n. f.*, savour
savoir, *v. a.*, to know, to know how
savon, *n. m.*, soap
savonnage, *n. m.*, soaping
savonner, *v. a.*, to soap
savourer, *v. a.*, to relish
sceau, *n. m.*, seal
sceller, *v. a.*, to seal
scie, *n. f.*, saw
scier, *v. a.*, to saw

sciure de bois, *n. f.*, sawdust
scrupuleusement, *adv.*, scrupulously
se, *pron.*, one's self, himself, herself,
 itself, one another
seau, *n. m.*, bucket
sec, *m.*, *sèche*, *f. adj.*, dry
sécher, *v. a.*, to dry, to wither
sécheresse, *n. f.*, dryness
second, -e, *adj.*, second
secondaire, *adj.*, secondary
secondairement, *adv.*, secondarily
seconde, *n. f.* second
secondement, *adv.*, secondly
seconder, *v. a.*, to second, to assist
secouer, *v. a.*, to help
secours, *n. m.*, help
secousse, *n. f.*, shock, jerk
secr-et, -ète, *adj.*, secret
secret, *n. m.*, secrecy, secret
sectionner, *v. a.*, to divide into sec-
 tions
séduire, *v. a.*, to seduce
séduisant, -e, *adj.*, seductive
seigle, *n. m.*, rye
sein, *n. m.*, breast, bosom
seize, *n. m.*, *adj.*, sixteen
seizième, *adj.*, sixteenth
séjour, *n. m.*, stay, standing
séjourner, *v. n.*, to stay, to make a
 stay
sel, *n. m.*, salt
selon, *prep.*, according to
selon que, *conj.*, as, according to
semailles, *n. f. plur.*, sowing, seed
semaine, *n. f.*, week
semblable, *adj.*, alike, similar
semblablement, *adv.*, likewise
semblant, *n. m.*, semblance, appear-
 ance
sembler, *v. n.*, to seem
semé, -e, *part.*, sowed, sown
semelle, *n. f.*, sole of shoes
semence, *n. f.*, seeds
semer, *v. a.*, to sow, to scatter

- sens**, *n. m.*, sense, meaning, direction
sensé, *-e, adj.*, sensible, intelligent
sensible, *adj.*, sensible, sensitive
sensiblement, *adv.*, sensibly, perceptibly
sentir, *v. a.*, to feel, to smell
se sentir, *v. r.*, to feel
séparer, *v. a.*, to separate
se séparer, *v. r.*, to separate
sept, *adj.*, seven
septième, *adj.*, seventh
sérieusement, *adv.*, seriously
sérieu-x, *-se, adj.*, serious, earnest
serment, *n. m.*, oath
serpentin, *n. m.*, worm, coil
serre, *n. f.*, green-house
serré, *-e, part.*, close, crowded
serrement, *n. m.*, pressing
serrer, *v. a.*, to press, to tighten
se serrer, *v. r.*, to crowd, to lie close
serrure, *n. f.*, lock
sertir, *v. a.*, to set a stone, to encase, to frame
service, *n. m.*, service, duty
servir, *v. a.*, to serve, to be of use, to be used as
se servir de, *v. r.*, to use, to make use of
serviteur, *n. m.*, servant
ses, *adj. plur.*, his, her, its, one's
seuil, *n. m.*, threshold
seul, *-e, adj.*, alone, only
seulement, *adv.*, only
sève, *n. f.*, sap
sévère, *adj.*, severe, strict
sévèrement, *adv.*, severely, strictly
si, *conj.*, if, whether
si, *adv.*, so, so much, however, yes
siccati-f, *-ve, adj.*, drying
 (huile siccative, drying oil)
siècle, *n. m.*, century
siège, *n. m.*, seat
siéger, *v. n.*, to sit, to lie
sien, *-ne, adj.*, his, hers, its
siffler, *v. n.*, to whistle
signalement, *n. m.*, description of a man
signaler, *v. a.*, to give the description of, to give a signal
signe, *n. m.*, sign, mark
signer, *v. a.*, to sign
signifiant, *-e, adj.*, significant
signifier, *v. a.*, to mean, to notify
silencieusement, *adv.*, silently
silencieu-x, *-se, adj.*, silently
silicaté, *-e, adj.*, silicate
 (matières silicatées, silicates)
silice, *n. f.*, silica
silicieu-x, *-se, adj.*, silicious
sillon, *n. m.*, furrow
similaire, *adj.*, similar
simple, *adj.*, simple, single
simplement, *adv.*, simply
simulacre, *n. m.*, feint, appearance
simulé, *-e, adj.*, fictitious, false
simuler, *v. a.*, to feign
simultané, *-e, adj.*, simultaneous
simultanément, *adv.*, simultaneously
sincèrement, *adv.*, sincerely
singuli-er, *-ère, adj.*, singular, peculiar
sinon, *conj.*, otherwise, except
sirupeu-x, *-se, adj.*, syrupy
sitôt, *adv.*, so soon, as soon
sitôt que, *conj.*, as soon as
situé, *-e, adj.*, situated
situer, *v. a.*, to place
sixième, *adj.*, sixth
sobrement, *adv.*, soberly
société, *n. f.*, society
sœur, *n. f.*, sister
soi, *pron.*, one's self, self, itself
soi-disant, *adj.*, would-be
soie, *n. f.*, silk
soif, *n. f.*, thirst
soigner, *v. a.*, to care for, to take care of
soigneusement, *adv.*, carefully

- soigneu-x, -se, *adj.*, careful
 soi-même, *pron.*, one's self, itself
 soin, *n. m.*, care
 soirée, *n. f.*, evening
 soit, *adv.*, be it so
 soit, *conj.*, either, whether, or
 soixantaine, *n. f.*, about sixty
 soixante, *adj.* sixty
 soixantième, *adj.*, sixtieth
 sol, *n. m.*, soil, ground
 solaire, *adj.*, solar
 soleil, *n. m.*, sun
 solennel, -le, *adj.*, solemn
 solidement, *adv.*, solidly
 solidifier, *v. a.*, to solidify
se solidifier, *v. r.*, to become solid
 solliciter, *v. a.*, to solicit
 solution, *n. f.*, solution
 solutions types, standardized solutions
 sombre, *adj.* dark
 sommaire, *n. m.*, summary, abstract
 sommairement, *adv.*, briefly
 somme, *n. f.* sum
 sommeil, *n. m.*, sleep
 sommet, *n. m.*, summit, top
 son, *n. m.*, sound, bran
 son, sa, ses, *adj.*, his, her, its, one's
 sonder, *v. a.*, to sound, to fathom
 songer, *v. n.*, to think, to dream
 sonner, *v. a.*, to ring, to sound
 sonnette, *n. f.*, bell
 sort, *n. m.*, fate
 sorte, *n. f.*, kind
 sortie, *n. f.*, going out, leaving, outlet, issue
 sortir, *v. a.*, *v. n.*, to go out, to take out
 soubresaut, *n. m.*, bumping
 souci, *n. m.*, care, anxiety
se soucier, *v. r.*, to care, to mind
 soucieu-x, -se, *adj.*, anxious
 soudain, -e, *adj.*, sudden
 soudain, *adv.*, suddenly
 soudainement, *adv.*, suddenly
 soude, *n. f.*, soda
 souder, *v. a.*, to solder
se souder, *v. r.*, to unite
 soudure, *n. f.*, welding, uniting
 souffler, *v. a.*, *v. n.*, to blow
 soufflerie, *n. f.*, bellows, blast-lamp
 souffrance, *n. f.*, suffering
 souffrant, -e, *adj.*, suffering
 souffrir, *v. n.*, to suffer
 soufre, *n. m.*, sulphur
 soufre en canons, roll sulphur
 souffrir, *v. a.*, to dip in sulphur, to spray with sulphur
 souhait, *n. m.*, wish
 souhaiter, *v. a.*, to wish, to wish for
 souillé, -e, *adj.*, contaminated
 souiller, *v. a.*, to soil, to contaminate
 soulageant, -e, *adj.*, easing
 soulagement, *n. m.*, relief
 soulager, *v. a.*, to relieve
 soulèvement, *n. m.*, rising, swelling
 soulever, *v. a.*, to raise, to lift
se soulever, *v. r.*, to raise one's self, to rise
 soumettre, *v. a.*, to submit, to subdue, to subjugate
se soumettre, *v. r.*, to submit
 soupape, *n. f.*, valve, strike valve, discharge valve
 soupçon, *n. m.*, suspicion
 soupçonner, *v. a.*, to suspect
 souple, *adj.*, supple, flexible
 souplement, *adv.*, flexibly
 souplesse, *n. f.*, suppleness, flexibility
 source, *n. f.*, source, spring
 sourd, -e, *adj.*, deaf, dull
 sourdre, *v. n.*, to spring, to arise
 sous, *prep.*, under, beneath, sub
 souscrire, *v. a.*, to subscribe
 sous-produit, *n. m.*, by-product
 sous-sol, *n. m.*, subsoil
 soustraire, *v. a.*, to subtract, to remove

se soustraire, v. r., to escape
soutenir, v. a., to support, to sustain
soutenu, -e, adj., supported, sustained, continued
souterrain, -e, adj., subterranean
soutien, n. m., support, maintenance
soutirer, v. a., to draw off
souvenir, n. m., remembrance, recollection
se souvenir de, v. r., to remember
souvent, adv., often
soyeu-x, -se, adj., silky
spacieusement, adv., spaciouly
spacieu-x, -se, adj., spacious
spatule, n. f., spatula
spécialement, adv., especially
spécieu-x, -se, adj., specious
spécifique, adj., specific
spécifiquement, adv., specifically
spontanément, adv., spontaneously
squelette, n. m., skeleton
stade, n. m., stage, period
stationner, v. n., to stand
stimuler, v. a., to stimulate
suant, -e, adj., sweating
subir, v. a., to undergo, to sustain
subit, -e, adj., sudden
subitement, adv., suddenly
subjuguer, v. a., to subjugate, to master
sublimé, n. m., sublimate
sublimer, v. a., to sublime
subordonner, v. a., to subordinate
substituer, v. a., to substitute
subvenir, v. n., to provide, to help
suc, n. m., juice
succéder, v. a., to succeed
succès, n. m., success
successi-f, -ve, adj., successive
succéssivement, adv., successively
succomber, v. n., to succumb, to die
sucer, v. a., to suck
sucre, n. m., sugar
sucre d'orge, barley sugar

sucre de fruit, fruit sugar
sucre interverti, inverted sugar
sucre de lait, milk sugar
sucré, -e, adj., sugared, sweet
sucrer, v. a., to sweeten
sucrerie, n. f., sugar-works, sweet things
suer, v. n., to sweat
sueur, n. f., perspiration
suffire, v. n., to suffice
suffisamment, adv., sufficiently
suffisant, -e, adj., sufficient
suffocant, -e, adj., suffocating
suffoquer, v. a., to suffocate
suggérer, v. a., to suggest
sule, n. f., soot
suif, n. m., tallow
suintement, n. m., oozing
suintier, v. n., to ooze
suite, n. f., continuation, order
suivant, prep., according to
suivant que, conj., as, according as
suivant, -e, adj., followed, connected
suivre, v. a., to follow
suivi, -e, part., followed, connected
suivre, v. a., to follow
sujet, -te, adj., subject, liable
sujet, n. m., subject
sulphhydrate, n. m., sulphhydrate, hydrosulphide
sulphhydrique, adj., hydrosulphuric
sulfure, n. m., sulphide
sulfure d'ammonium, ammonium sulphide
sulfure de carbone, carbon bisulphide
sulfuré, -e, adj. sulphureted
suifureu-x, -se, adj., sulphurous
superflu, -e, adj., superfluous
supérieur, -e, adj., superior
supérieurement, adv., in a superior manner
suppléer, v. a., to make up, to substitute
supplier, v. a., to beseech

support, *n. m.*, stand
 support à ratelier, test-tube rack
 support à trépied, tripod
 supporter, *v. a.*, to support
 supposé, *-e, part.*, supposed
 supposer, *v. a.*, to suppose
 supprimer, *v. a.*, to suppress
 suppurer, *v. n.*, to suppurate
 sur, *prep.*, on, upon
 sur, *-e, adj.*, sour
 sûr, *-e, adj.*, sure, certain
 surcharge, *n. f.*, additional load, over-charge
 surcharger, *v. a.*, to overload
 surchauffe, *n. f.*, superheating
 surchauffer, *v. a.*, to overheat, to superheat
 surchauffé, *-e, adj.*, superheated
 surcroît, *n. m.*, increase
 surélévation, *n. f.*, rise
 sûreté, *n. f.*, safety, security
 surgir, *v. n.*, to arise
 surhumain, *-e, adj.*, superhuman
 surmonter, *v. a.*, to surmount, to overcome
 surnager, *v. n.*, to float on the surface
 surpasser, *v. a.*, to surpass, to exceed
 surprenant, *-e, adj.*, surprising
 surprendre, *v. a.*, to surprise
 sursaturer, *v. a.*, to supersaturate
 surtout, *adv.*, especially
 surveiller, *v. a.*, to watch
 survenir, *v. n.*, to happen unexpectedly
 survivre, *v. n.*, to survive
 susciter, *v. a.*, to raise, to stir up
 suspendre, *v. a.*, to suspend
 systématique, *n. m.*, systematizing
 systématiquement, *adv.*, systematic-ally
 systématiser, *v. a.*, to systematize

T

ta, *poss. adj. f.*, thy

tabac, *n. m.*, tobacco
 table de travail, *n. f.*, work table
 tableau, *n. m.*, blackboard, painting, table
 tablette, *n. f.*, shelf, tablet, pill
 tablier, *n. m.*, apron
 tabouret, *n. m.*, stool
 tache, *n. f.*, spot, stain
 tâche, *n. f.*, task
 tacher, *v. a.*, to stain
 tâcher, *v. a.*, to try
 tacheté, *-e, adj.*, spotted
 tacheter, *v. a.*, to speckle
 taille, *n. f.*, cutting, statue, waist
 taillé, *-e, part.*, cut, carved
 tailler, *v. a.*, to cut, to carve, to trim
 se taire, *v. r.*, to be silent, to become silent
 talon, *n. m.*, heel
 tambour, *n. m.*, drum
 tamis, *n. m.*, sieve
 (passer au tamis, to sift)
 tamisage, *n. m.*, sifting
 tamiser, *v. a.*, to sift
 tampon, *n. m.*, plug, pad
 tamponner, *v. a.*, to plug
 tandis que, *conj.*, while, whilst, whereas
 tanin, *n. m.*, tannin
 tannage, *n. m.*, tanning
 tanné, *-e, adj.*, tan colored, tanned
 tanner, *v. a.*, to tan
 tannerie, *n. f.*, tan-yard, tannery
 tant, *adv.*, presently, soon
 tapage, *n. m.*, noise, racket
 tape, *n. f.*, rap, tap
 taper, *v. a.*, to hit, to tap
 tapis, *n. m.*, carpet, rug, cover
 tard, *adv.*, late
 tarder, *v. n.*, to tarry, to be long
 tardif, *-ve, adj.*, tardy, late, backward
 tare, *n. f.*, tare
 taré, *-e, adj.*, tared
 tarer, *v. a.*, to tare

- tarir, *v. a.*, to drain, to exhaust
 tartre, *n. m.*, tartar
 tartrique, *adj.*, tartaric
 tas, *n. m.*, heap, pile
 tasse, *n. f.*, cup
 tassée, *n. f.*, cupful
 tasser, *v. a.*, to heap up
 tâter, *v. a.*, to feel, to try
 tâtonnement, *n. m.*, groping
 tâtonner, *v. a.*, to grope
 tâtona, *adv.*, (à tâtona, groping)
 tautomère, *adj.*, tautomeric
 taux, *n. m.*, rate of interest
 te, *pron.*, thee, to thee
 teindre, *v. a.*, to dye, to tinge
 teint, *n. m.*, complexion, colour
 teinte, *n. f.*, tint, shade
 teinter, *v. a.*, to tint
 teinture, *n. f.*, dyeing shop, tincture
 teinturerie, *n. f.*, dye-works
 teinturi-er, -ère, *n.*, dyer
 tel, -le, *adj.*, such, like
 tellement, *adv.*, so, so much
 tellure, *n. m.*, tellurium
 téméraire, *adj.*, rash, foolhardy
 téméraitement, *adv.*, rashly
 témérité, *n. f.*, rashness, temerity
 témoignage, *n. m.*, testimony, evidence
 témoigner, *v. a.*, to testify
 témoin, *n. m.*, witness
 temps, *n. m.*, time, term, weather
 tenace, *adj.*, tenacious, adhesive
 tendre, *adj.*, tender, soft
 tendre, *v. a.*, to stretch
 tendre, *v. n.*, to tend, to lead to
 tendrement, *adv.*, tenderly
 tendresse, *n. f.*, tenderness
 tendu, -e, *part.*, bent, tight, strained
 ténèbres, *n. f. plur.*, darkness
 ténébreu-x, -se, *adj.*, dark, obscure
 teneur, *n. f.*, percentage, contents
 tenir, *v. a.*, to hold, to contain
 tenir, *v. n.*, to take after
 se tenir, *v. r.*, to hold, to be standing,
 to be
 tentant, -e, *adj.*, tempting
 tentat-eur, -rice, *adj.*, tempter
 tentation, *n. f.*, temptation
 tentative, *n. f.*, attempt
 tenter, *v. a.*, to attempt, to tempt
 tenu, -e, *part.*, held, bound, compact,
 minute
 tenue, *n. f.*, deportment, bearing,
 bookkeeping
 térébenthine, *n. f.*, turpentine
 terme, *n. m.*, term, end, limit, end
 point, member
 terminer, *v. a.*, to terminate, to end,
 to limit
 terné, *adj.*, tarnished, dull
 ternir, *v. a.*, to tarnish, to dull
 terrain, *n. m.*, ground
 terre, *n. f.*, earth, land
 terreau, *n. m.*, compost
 terreu-x, -se, *adj.*, earthy, dirty
 terriblement, *adv.*, terribly
 terrifier, *v. a.*, to terrify
 tes, *poss. adj. plur.*, thy
 tête, *n. f.*, head, top
 thé, *n. m.*, tea
 thème, *n. m.*, theme, topic
 thèse, *n. f.*, thesis, discussion
 tiède, *adj.*, lukewarm, tepid
 tièdement, *adv.*, coldly, lukewarmly
 tièdeur, *n. f.*, lukewarmness, tepidity
 tiédir, *v. a.*, to cool, to become luke-
 warm
 tien, -ne, *poss. pron.*, thine
 tiers, *n. m.*, third part
 tige, *n. f.*, stem
 timbre, *n. m.*, ring, tone, stamp
 timidement, *adv.*, timidly
 tintement, *n. m.*, tolling, ringing
 tinter, *v. a.*, to ring, to toll
 tir, *n. m.*, shooting
 tirage, *n. m.*, draught
 tiraillement, *n. m.*, pulling, twitching

- tirailler, *v. a.*, to pull, to twitch
 tirant, *n. m.*, draught
 tirer, *v. a.*, to pull, to draw, to shoot
 tiroir, *n. m.*, drawer
 tisonner, *v. a.*, to stir the fire
 tissage, *n. m.*, texture, weaving
 tisser, *v. a.*, to weave
 tisserand, *n. m.*, weaver
 tissu, *n. m.*, texture, fabric
 tissure, *n. f.*, texture, web
 titane, *n. m.*, titanium
 titrage, *n. m.*, titration
 titrage en retour, back titration
 titre, *n. m.*, title, titre, normality factor
 titré, *-e, adj.*, titled, standardized
 (liqueurs titrées, standardized solutions)
 titrer, *v. a.*, to standardize
 toile, *n. f.*, cloth, linen-cloth, canvas
 toile métallique, *n. f.*, wire gauze
 toiser, *v. a.*, to measure
 toit, *n. m.*, roof
 tôle, *n. f.*, sheet-iron
 tolérablement, *adv.*, tolerably
 tolérer, *v. a.*, to tolerate
 tomber, *v. n.*, to fall, to drop
 ton, *ta, tes, poss. adj.*, thy
 ton, *n. m.*, tone
 tondre, *v. a.*, to shear, to shave
 tondu, *-e, part.*, shorn
 tonneau, *n. m.*, ton, cask
 tonneler, *v. a.*, to tunnel
 tonner, *v. n.*, to thunder
 torchon, *n. m.*, dish-cloth, duster
 tordre, *v. a.*, to twist, to wring
 tors, *-e, adj.*, twisted
 tort, *n. m.*, wrong
 tortillement, *n. m.*, twisting
 tortiller, *v. a.*, to twist, to wriggle
 tortu, *-e, adj.*, crooked, tortuous
 tortueu-x, *-se, adj.*, tortuous
 tôt, *adv.*, soon
 total, *n. m.*, total, whole
 totalement, *adv.*, totally
 totaliser, *v. a.*, to form a total
 totalité, *n. f.*, whole
 touchant, *-e, adj.*, touching, moving
 touchant, *prep.*, concerning
 touche, *n. f.*, touch, stroke
 toucher, *v. a.*, to touch, to feel, to draw near
 touffe, *n. f.*, tuft
 toujours, *adv.*, always
 tour, *n. f.*, tower
 tour, *n. m.*, turn, revolution, lathe
 tourbe, *n. f.*, peat
 tourbeu-x, *-se, adj.*, peaty
 tourbillon, *n. m.*, whirlwind
 tourbillonner, *v. n.*, to whirl
 tourmenter, *v. a.*, to torment
 tournant, *n. m.*, turn
 tournant, *-e, part.*, turned
 tournée, *n. f.*, circuit, round
 tourner, *v. a. v. n.*, to turn, to revolve
 se tourner, *v. r.*, to turn around
 tournesol, *n. m.*, litmus
 tournure, *n. f.*, turnings, turn
 tourteau, *n. m.*, oil cake
 tous, toutes, *adj.*, all
 tout, *-e, adj.*, all, whole, every
 tout, *n. m.*, whole
 tout, *adv.*, wholly, entirely
 tout à fait, *adv.*, quite
 toutefois, *adv.*, yet, nevertheless
 toux, *n. f.*, cough
 toxique, *adj.*, poisonous, toxic
 trace, *n. f.*, trace, track, sign
 trace, *n. m.*, sketch, outline
 tracer, *v. a.*, to sketch
 traditionnel, *-le, adj.*, traditional
 traduction, *n. f.*, translation
 traduire, *v. a.*, to translate
 traduisable, *adj.*, translatable
 trahir, *v. a.*, to betray, to disclose
 trahison, *n. f.*, treason, treachery
 train, *n. m.*, pace, rate, train
 traînant, *-e, adj.*, dragging, trailing

- trainée, n. f.*, trail
trainer, v. a., v. n., to draw, to drag,
to trail
se trainer, v. r., to crawl, to creep
along
trait, n. m., stroke, trait, dash, line,
mark
traitable, adj., tractable, manageable
traité, n. m., treatise, agreement
traitement, n. m., treatment
traiter, v. a., v. n., to treat
trajet, n. m., passage, journey
tramer, v. a., to weave, to plot
tranchant, -e, adj., sharp, cutting
tranche, n. f., slice
tranchée, n. f., trench
trancher, v. a., to cut, to settle
tranquille, adj., quiet, calm
tranquilleusement, adv., quietly
tranquilliser, v. a., to quiet
se tranquilliser, v. r., to grow easy, to
calm one's self
transbordement, n. m., trans-shipment
transborder, v. a., to trans-ship
transcendance, n. f., transcendancy
transcrire, v. a., to transcribe
transférer, v. a., to transfer
transi, -e, adj., chilled
transmettre, v. a., to transmit
transpercer, v. a., to pierce through
and through
transpirer, v. n., to perspire
transport, n. m., carriage, conveyance
transportable, adj., that may be con-
veyed
transporter, v. a., to transport, to con-
vey
trappe, n. f., trap
traquer, v. a., to surround, to hem in
travail, n. m., work
travailler, v. n., to work
traverse, n. f., cross-beam
traversée, n. f., passage, voyage
traverser, v. a., to cross
travesti, -e, adj., disguised
travestir, v. a., to disguise
trébucher, v. n., to stumble
trèfle, n. m., clover
treillis, n. m., lattice-work
treize, adj., thirteen
treizième, adj., thirteenth
tremblant, -e, adj., trembling, shiver-
ing
tremblement, n. m., trembling, quak-
ing
trembler, v. n., to shake, to shiver, to
fear
trembloter, v. n., to quiver
trémie, n. f., mill-hopper
trempage, n. m., steeping, wetting
trempé, n. f., temper (of steel), wet-
ting
trempé, -e, adj., wet, tempered
tremper, v. a., to wet, to dip, to tem-
per
trentaine, n. f., about thirty
trente, adj., thirty
trentième, adj., thirtieth
trépied, n. m., tripod
très, adv., very
trésor, n. m., treasure, treasury
tressaillir, v. n., to start, to leap, to
jump
tresser, v. a., to weave, to plait
triage, n. m., sorting
tribu, n. f., tribe
trier, v. a., to pick, to sort
trimère, n. m., polymere (condensa-
tion of 3 molecules)
trionpher, v. a., to triumph
triplement, adv., trebly
tripler, v. a., to treble
triste, adj., sad, dull
tristement, adv., sadly
tristesse, n. f., sadness
triturer, v. a., to triturate
trois, adj., three
troisième, adj., third

trompe, *n. f.*, water pump
 trompe à eau, water suction pump
 trompe à mercure, mercury pump
 trompe à vide, vacuum pump
 tromper, *v. a.*, to deceive
se tromper, *v. r.* to be mistaken
 trompeur, -se, *adj.*, delusive, false
 tronc, *n. m.*, trunk, stem
 tronçon, *n. m.*, fragment, section
 trop, *adv.*, too much, too many, too
 trop-plein, *n. m.*, overflow, catch-all
 trou, *n. m.*, hole
 trou de coulée, discharge opening
 trou d'écoulement, outlet
 trou d'homme, manhole
 trouble, *n. m.*, cloudiness
 trouble, *adj.*, cloudy
 troubler, *v. a.*, to trouble, to make
 cloudy
 tu, *pron.*, thou
 turbine, *n. f.* centrifugal machine
 tuant, -e, *adj.*, killing, tiresome
 tube abducteur, *n. m.*, exit tube
 tube à dégagement, exit tube, deliv-
 ery tube
 tube d'arrivée, inlet tube
 tube de sûreté, safety tube
 tube en verre, glass tube
 tube latéral, side tube, side-neck
 tubulé, -e, *adj.*, tubulated
 tubulure, *n. f.*, small tube, side-neck
 tuer, *v. a.*, to kill
 tuile, *n. f.*, tile
 tuyau, *n. m.*, pipe, tube
 tuyère, *n. f.*, blast-pipe
 type, *adj.*, type, standard
 (solutions types, standard solu-
 tions)
 typique, *adj.*, typical

U

ulcéré, -e, *adj.*, ulcerated
 ultérieur, -e, *adj.*, ulterior, subsequent
 ultérieurement, *adv.*, subsequently

un, une, *pron., art.*, one, a, an, any
 unanimement, *adv.*, unanimously
 uni, -e, *adj.*, united, smooth, level
 unifier, *v. a.*, to unite, to amalgamate
 uniquement, *adv.*, only, solely
 unir, *v. a.*, to unite, to join together
s'unir, *v. r.*, to unite, to join together
 unité, *n. f.*, unity, unit
 universellement, *adv.*, universally
 urée, *n. f.*, urea
 usage, *n. m.*, custom, practice
 usé, -e, *adj.*, worn out
 user de, *v. a.*, to wear out, to use up
 user, *v. a.*, to wear out, to use up
s'user, *v. r.*, to wear out, to waste
 usine, *n. f.*, factory
 usité, -e, *adj.*, usual, in use
 ustensile, *n. m.*, utensil, implement
 usuel, -le, *adj.*, usual, customary
 usuellement, *adv.*, usually
 utile, *adj.*, useful
 utilement, *adv.*, usefully
 utiliser, *v. a.*, to utilize
 utilité, *n. f.*, usefulness

V

vacant, -e, *adj.*, vacant
 vache, *v. f.*, cow
 vacillant, -e, *adj.*, vacillating
 vaciller, *v. n.*, to vacillate
 va-et-vient, *n. m.*, see-saw motion
 vague, *n. f.*, wave
 vague, *adj.*, vague, uncertain
 vague, *n. m.*, vagueness, space
 vaguement, *adv.*, vaguely
 vaguer, *v. n.*, to ramble, to rove
 vaillamment, *adv.*, valiantly
 vaillant, -e, *adj.*, valiant, brave
 vain, -e, *adj.*, vain
 vaincre, *v. a.*, to vanquish, to conquer
 vaincu, *n. m.*, conquered
 vainement, *adv.*, vainly, in vain
 vainqueur, *n. m.*, conqueror, victor
 vaisseau, *n. m.*, vessel, ship

- vaisselle, *n. f.*, plates, dishes
 valable, *adj.*, valid
 valet en paille, *n. m.*, straw ring
 valeur, *n. f.*, value
 valeur limite, limiting value
 valide, *adj.*, valid, good
 valablement, *adv.*, validly
 valider, *v. a.*, to validate, to make valid
 vallée, *n. f.*, valley
 valoir, *v. n.*, to be worth
 value, *n. f.*, value
 vanille, *n. f.*, vanilla
 vanter, *v. a.*, to praise, to extol
 se vanter, *v. r.*, to boast
 vapeur, *n. f.*, vapor, steam
 vaporeu-x, -se, *adj.*, vaporous
 vaporiser, *v. a.*, to vaporize
 se vaporiser, *v. r.*, to vaporize
 variabilité, *n. f.*, variability
 variant, -e, *adj.*, variable
 varier, *v. a.*, *v. n.*, to vary, to be at variance
 variété, *n. f.*, variety, change
 vase, *n. m.*, vase, vessel, beaker
 vase, *n. f.*, slime, mud
 vaseu-x, -se, *adj.*, slimy, muddy
 vaste, *adj.*, vast, extensive
 vastement, *adv.*, vastly
 veau, *n. m.*, calf
 végétal, -e, *adj.*, vegetable
 végétant, -e, *adj.*, vegetating
 végéter, *v. n.*, to vegetate
 véhicule, *n. m.*, vehicle
 veille, *n. f.*, watch
 veiller, *v. a.*, *v. n.*, to watch, to take care
 veiller à ce que, to watch that
 veine, *n. f.*, vein
 veiné, -e, *adj.*, veined
 vitesse, *n. f.*, velocity
 velours, *n. m.*, velvet
 velouté, -e, *adj.*, velvety
 velu, -e, *adj.*, hairy
 vendre, *v. a.*, to sell
 vendredi, *n. m.*, Friday
 vénérablement, *adv.*, venerably, reverently
 vénérer, *v. a.*, to venerate
 venger, *v. a.*, to avenge
 se venger, *v. r.*, to revenge one's self
 venin, *n. m.*, venom
 venir, *v. n.*, to come
 venir de, to have just
 vent, *n. m.*, wind
 vente, *n. f.*, sale
 ventre, *n. m.*, belly, stomach
 venue, *n. f.*, coming, arrival
 ver, *n. m.*, worm
 verbalement, *adv.*, verbally
 verbaliser, *v. a.*, to draw a written statement
 verdâtre, *adj.*, greenish
 verdir, *v. a.*, to grow green, to turn green
 verdure, *n. f.*, greenness
 véreux, -se, *adj.*, worm-eaten
 verge, *n. f.* rod
 verger, *n. m.*, orchard
 vérificateur, *n. m.*, examiner, auditor
 vérifier, *v. a.*, to verify, to inspect
 véritable, *adj.* true, real
 véritablement, *adv.*, truly
 vérité, *n. f.*, truth
 vermeil, -le, *adj.*, ruddy, rosy
 vermoulu, -e, *adj.*, worm-eaten
 vernir, *v. a.*, to varnish
 vernis, *n. m.*, varnish
 verre, *n. m.*, glass
 verre de montre, watch glass
 verre à expérience, glass cylinder
 verrerie, *n. f.*, glass-works, glassware
 verrier, *n. m.*, glass-maker
 verrou, *n. m.*, bolt
 vers, *n. m.*, verse
 vers, *prep.*, towards, about
 versant, *n. m.*, declivity, side
 versé, -e, *adj.*, versed, skilled

versement, *n. m.*, payment
 verser, *v. a.*, to pour, to spill
 vert, -e, *adj.*, green
 vert, *n. m.*, green color
 vert-de-gris, *n. m.*, verdigris
 vertébré, -e, *adj.*, vertebrate
 verticalement, *adv.*, vertically
 vertu, *n. f.*, virtue, property
 vesce, *n. f.*, vetch
 vessie, *n. f.*, bladder
 vêtir, *v. a.*, to clothe
 se vêtir, *v. r.*, to dress one's self
 vêtu, -e, *part.*, dressed, clad
 vexant, -e, *adj.*, provoking
 vexer, *v. a.*, to provoke
 viag-er, -ère, *adj.*, for life
 viande, *n. f.*, meat
 vibrant, -e, *adj.*, vibrating
 vibrer, *v. n.*, to vibrate
 vicié, -e, *adj.*, vitiated
 vicier, *v. a.*, to vitiate
 vicieusement, *adv.*, viciously
 vicieu-x, -se, *adj.*, vicious
 victoire, *n. f.*, victory
 victorieusement, *adv.*, victoriously
 victorieu-x, -se, *adj.*, victorious
 vide, *adj.*, empty, void
 vide, *n. m.*, void, vacuum
 (faire le vide, to evacuate)
 vidé, -e, *part.*, emptied
 vider, *v. a.*, to empty
 se vider, *v. r.*, to empty itself, to be
 emptied
 vie, *n. f.*, life
 vieil, -le, *adj.*, old
 vieillir, *v. n.*, to grow old, to age
 vierge, *n. f.*, virgin
 vieux, *adj. m. plur.*, old
 vi-f, -ve, *adj.*, live, lively, sharp
 vigilamment, *adv.*, vigilantly
 vigne, *n. f.*, vine, vineyard
 vignoble, *n. m.*, vineyard
 vigoureusement, *adv.*, vigorously
 vigueur, *n. f.*, vigour, force

vilain, -e, *adj.*, ugly
 vilainement, *adv.*, uglily
 ville, *n. f.*, town, city
 vin, *n. m.*, wine
 vinaigre, *n. m.*, vinegar
 vindicatif, -ve, *adj.*, vindictive, re-
 vengeful
 vineu-x, -se, *adj.*, vinous, wine-colored
 vingt, *adj.*, twenty
 vingtième, *adj.*, twentieth
 violacé, -e, *adj.*, purple
 violemment, *adv.*, violently
 violent, *adj.*, violent
 violer, *v. a.*, to violate
 violet, -te, *adj.*, violet-colored
 virement, *n. m.*, turning, shifting
 virer, *v. n.*, to turn, to shift, to change
 color at the end point
 viril, -e, *adj.*, virile, manly
 vis, *n. f.*, screw
 vis calante, *n. f.*, leveling screw
 visage, *n. m.*, face, aspect
 vis-à-vis, *adv., prep.*, opposite
 viscosité, *n. f.*, viscosity
 viser, *v. a.*, to aim
 visiblement, *adv.*, visibly
 visiter, *v. a.*, to visit
 visqueu-x, -se, *adj.*, viscous
 visser, *v. a.*, to screw
 visuel, -le, *adj.*, visual
 vital, -e, *adj.* vital, essential
 vitalement, *adv.*, vitally, essentially
 vite, *adj.*, swift, rapid
 vite, *adv.*, quick, quickly
 vitesse, *n. f.*, swiftness, speed
 vitre, *n. f.*, glass, pane of glass
 vitreu-x, -se, *adj.*, vitreous
 vitrifier, *v. a.*, to vitrify
 vitrine, *n. f.*, glass case
 vivant, -e, *adj.*, living, alive
 vivement, *adv.*, quickly, briskly
 vivifiant, -e, *adj.*, vivifying
 vivifier, *v. a.*, to vivify, to animate
 vivre, *v. n.*, to live

vivre, *n. m.*, living, food
 vocabulaire, *n. m.*, vocabulary
 vœu, *n. m.*, vow
 voici, *prep.*, here is, this is, these are
 voie, *n. f.*, way, road
 voie humide, wet way
 voie sèche, dry way
 voilà, *prep.*, that is, those are, there is, there are
 voile, *n. m.*, veil, mark
 voiler, *v. a.*, to veil, to conceal
 voir, *v. a.*, to see
 voisin, -e, *adj.*, adjacent, next
 voisin, -e, *n.*, neighbor
 voisinage, *n. m.*, neighborhood, vicinity
 voiture, *n. f.*, carriage
 voix, *n. f.*, voice
 vol, *n. m.*, theft
 vol, *n. m.*, flying, soaring
 volaille, *n. f.*, poultry
 volant, -e, *adj.*, flying, loose
 volant, *n. m.*, fly-wheel, guiding-wheel
 volatil, -e, *adj.*, volatile
 volatiliser, *v. a.*, to volatilize
se volatiliser, *v. r.*, to volatilize
 volée, *n. f.*, flight, discharge of guns
 voler, *v. a.*, *v. n.*, to fly, to steal
 volet, *n. m.*, window-shutter
 voleur, -se, *adj.*, thief
 volontaire, *adj.*, voluntary
 volonté, *n. f.*, will
 volontiers, *adv.*, willingly
 voltaïque, *adj.*, voltaic
 voltiger, *v. n.*, to flutter
 volumineux, -se, *adj.*, voluminous
 vomir, *v. a.*, to vomit
 voracement, *adv.*, ravenously

voter, *v. n.*, to vote
 votre, *poss. adj.*, your
 (le vôtre, la vôtre, les vôtres, *poss. pron.*, yours)
 vouer, *v. a.*, to vow, to dedicate
 vouloir, *v. a.*, to will, to want, to be willing
 vous, *pers. pron.*, you
 voûte, *n. f.*, vault, arch
 voûter, *v. a.*, to vault, to arch
 voyage, *n. m.*, voyage, journey, trip
 voyager, *v. n.*, to travel
 vrai, -e, *adj.*, true
 vrai, *n. m.*, truth
 vraiment, *adv.*, truly
 vraisemblable, *adj.*, likely
 vraisemblablement, *adv.*, likely
 vraisemblance, *n. f.*, likelihood
 vu que, *conj.*, seeing that, since
 vue, *n. f.*, sight, eyesight
 vulcanisé, -e, *adj.*, vulcanized
 vulcaniser, *v. a.*, to vulcanize

X

X^{bre}, abbreviation for December
 xylène, *n. m.*, xylene

Y

y, *adv.*, there
 y, *pers. pron.*, by it, by them, for it, for them, to it, to them
 yeux, *n. m., plur.*, eyes

Z

zélé, -e, *adj.*, zealous
 zéro, *n. m.*, zero, naught
 zincique, *adj.*, zinc, of zinc
 zinguer, *v. a.*, to cover with zinc

SCIENTIFIC BOOKS

PUBLISHED BY

The Chemical Publishing Company,
Easton, Penna.

ARNDT-KATZ —A Popular Treatise on the Colloids in the Industrial Arts. Translated from the Second Enlarged German Edition. 12mo. Pages VI + 73.....	\$0.75
ARNOLD —The Motor and the Dynamo. 8vo. Pages VI + 178. 166 Figures	\$1.50
BENEDICT —Elementary Organic Analysis. Small 8vo. Pages VI + 82. 15 Illustrations.....	\$1.00
BERGEY —Handbook of Practical Hygiene. Small 8vo. Pages 164..	\$1.50
BILTZ —The Practical Methods of Determining Molecular Weights. (Translated by Jones.) Small 8vo. Pages VIII + 245. 44 Illustrations	\$2.00
BOLTON —History of the Thermometer. 12mo. Pages 96. 6 Illustrations	\$1.00
BURGESS —Soil Bacteriology Laboratory Manual. 12mo. Pages VIII + 123. 3 Illustrations.....	\$1.00
CAMERON —The Soil Solution, or the Nutrient Medium for Plant Growth. 8vo. Pages VI + 136. 3 Illustrations.....	\$1.25
COLBY —Reinforced Concrete in Europe. 8vo. Pages X + 260...	\$3.50
EMERY —Elementary Chemistry. 12mo. Pages XIV + 666. 191 Illustrations	\$1.50
ENGELHARDT —The Electrolysis of Water. 8vo. Pages X + 140. 90 Illustrations	\$1.25
FRAPS —Principles of Agricultural Chemistry. 8vo. 2nd Edition. Pages VI + 501. 94 Illustrations.....	\$4.50
GILMAN —A Laboratory Outline for Determinations in Quantitative Chemical Analysis. Pages 88.....	\$0.90
GUILD —The Mineralogy of Arizona. Small 12mo. Pages 104. Illustrated	\$1.00
HALLIGAN —Elementary Treatise on Stock Feeds and Feeding. 8vo. Pages VI + 302. 24 Figures.....	\$2.50
HALLIGAN —Fertility and Fertilizer Hints. 8vo. Pages VIII + 156. 12 Figures	\$1.25
HALLIGAN —Soil Fertility and Fertilizers. 8vo. Pages X + 398. 23 Figures	\$3.50

HARDY —Infinitesimals and Limits. Small 12mo. Paper. Pages 22. 6 Figures	\$0.20
HART —Chemistry for Beginners. Small 12mo. Vol. I. Inorganic. Pages VIII + 214. 55 Illustrations, 2 Plates.....	\$1.00
HART —Chemistry for Beginners. Small 12mo. Vol. II. Pages IV + 98. 11 Illustrations.....	\$0.50
HART —Second Year Chemistry. Small 12mo. Pages 165. 31 Illustrations	\$1.25
HART, R. N. —Leavening Agents. 8vo. Pages IV + 90. 13 Illus- trations	\$1.00
HART, R. N. —Welding. 8vo. Pages XVI + 182. 93 Illustrations..	\$2.50
HEESS —Practical Methods for the Iron and Steel Works Chemist. Pages 60	\$1.00
HILL —A Brief Laboratory Guide for Qualitative Analysis. 12mo. Pages VI + 80.....	\$1.00
HINDS —Qualitative Chemical Analysis. 8vo. Pages VIII + 266..	\$2.00
HOWE —Inorganic Chemistry for Schools and Colleges. 8vo. Pages VIII + 422	\$3.00
JONES —The Freezing Point, Boiling Point and Conductivity Meth- ods. Pages VIII + 76. 2nd Edition, completely revised.....	\$1.00
KRAYER —The Use and Care of a Balance. Small 12mo. Pages IV + 42. 18 Illustrations.....	\$0.75
LANDOLT —The Optical Rotating Power of Organic Substances and Its Practical Applications. 8vo. Pages XXI + 751. 83 Illus- trations	\$7.50
LEAVENWORTH —Inorganic Qualitative Chemical Analysis. 8vo. Pages VI + 153.....	\$1.50
LE BLANC —The Production of Chromium and Its Compounds by the Aid of the Electric Current. 8vo. Pages 122.....	\$1.25
LOCKHART —American Lubricants. 8vo. Pages X + 236. Illus- trated.	
MASON —Notes on Qualitative Analysis. Small 12mo. Pages 56..	\$0.80
MEADE —Chemists' Pocket Manual. 12mo.	
MEADE —Portland Cement. 2d Edition. 8vo. Pages X + 512. 169 Illustrations	\$4.50
MOELLER-KRAUSE —Practical Handbook for Beet-Sugar Chemists. 8vo. Pages VIII + 132. 19 Illustrations.....	\$1.25
MOISSAN —The Electric Furnace. 8vo. Pages X + 305. 41 Illus- trations	\$2.50
NIKAIDO —Beet-Sugar Making and Its Chemical Control. 8vo. Pages XII + 354. 65 Illustrations.....	\$3.00
NISSONSON —The Arrangement of Electrolytic Laboratories. 8vo. Pages 81. 52 Illustrations.....	\$1.25

NOYES —Organic Chemistry for the Laboratory. 3d Edition, revised. 8vo. Pages XII + 292. 41 Illustrations.....	\$2.00
NOYES AND MULLIKEN —Laboratory Experiments on Class Reactions and Identification of Organic Substances. 8vo. Pages 81..	\$0.50
PARSONS —The Chemistry and Literature of Beryllium. 8vo. Pages VI + 180.....	\$2.00
PFAHHAUSER —Production of Metallic Objects Electrolytically. 8vo. Pages 162. 100 Illustrations.....	\$1.25
PHILLIPS —Chemical German. 2d Edition. 8vo. Pages VIII + 252	\$2.00
PHILLIPS —Methods for the Analysis of Ores, Pig Iron and Steel. 2d Edition. 8vo. Pages VIII + 170. 3 Illustrations.....	\$1.00
PRANKE —Cyanamid (Manufacture, Chemistry and Uses). 8vo. Pages VI + 112. 8 Figures.....	\$1.25
SEGER —Collected Writings of Herman August Seger. Papers on Manufacture of Pottery. 2 Vols. Large 8vo.....per vol	\$7.50 or \$15.00 per set.
STILLMAN —Engineering Chemistry. 5th Edition. 8vo. Pages VIII + 760. 150 Illustrations.....	\$5.00
STILLMAN —Examination of Lubricating Oils. 8vo. Pages IV + 125. 35 Illustrations	\$1.25
TOWER —The Conductivity of Liquids. 8vo. Pages 82. 20 Illus- trations	\$1.50
VENABLE —The Development of the Periodic Law. Small 12mo. Pages VIII + 321. Illustrated.....	\$2.50
VENABLE —The Study of the Atom. 12mo. Pages VI + 290....	\$2.00
VULTE —Household Chemistry. 12mo. 2nd Edition. Pages VI + 234	\$1.50
VULTE AND VANDERBILT —Food Industries—An Elementary Text-book on the Production and Manufacture of Staple Foods. 2d Edition. 8vo. Pages X + 327. 81 Illustrations.....	\$2.00
WILEY —Principles and Practice of Agricultural Analysis. Vol. I—Soils. Pages XII + 636. 55 Illustrations. 17 Plates.....	\$4.00
WILEY —Principles and Practice of Agricultural Analysis. Vol. II—Fertilizers and Insecticides. Pages 684. 40 Illustrations. 7 Plates	\$4.50
WILEY —Principles and Practice of Agricultural Analysis. Vol. III—Agricultural Products. Pages XVI + 846. 127 Illustrations	\$6.00
WYSOR —Analysis of Metallurgical and Engineering Materials—a Systematic Arrangement of Laboratory Methods. Size 8½ x 10½. Pages 82. Illustrated. Blank Pages for Notes.....	\$2.00
WYSOR —Metallurgy—a Condensed Treatise for the Use of College Students and Any Desiring a General Knowledge of the Sub- ject. 2d Edition, revised and enlarged. 8vo. Pages XIV + 391. 104 Illustrations	\$3.00
ZIEGEL —Brief Course in Metallurgical Analysis. Pages VI + 72...	\$1.00

1. The first part of the document is a list of the names of the persons who have been named in the proceedings.

2. The second part of the document is a list of the names of the persons who have been named in the proceedings.

3. The third part of the document is a list of the names of the persons who have been named in the proceedings.

4. The fourth part of the document is a list of the names of the persons who have been named in the proceedings.

5. The fifth part of the document is a list of the names of the persons who have been named in the proceedings.

6. The sixth part of the document is a list of the names of the persons who have been named in the proceedings.

LANE MEDICAL LIBRARY

To avoid fine, this book should be returned on
or before the date last stamped below.

JAN 5 1920

SEP 10 21

MAR -6 '29

DEC 4 1954

MAR 21 1964

SEP -3 1964

JUL 28 1965

LANE MEDICAL LIBRARY
STANFORD UNIVERSITY
500 PASTOR

A211	Dolt, M.L.	45501
D66	Chemical French	
1918		
NAME	DATE DUE	
		DEC 1 1953
A211 Dolt, M.L.	45501	
D66	Chemical French	
1918		
NAME	DATE DUE	
<i>[Signature]</i>		JAN 5 1920
<i>Mr. G. Sinclair</i>		JAN 13 1920
<i>Chas. Burdett</i>		SEP 1 1927
<i>[Signature]</i>		MAR 6 1929
<i>[Signature]</i>		DEC 1 1957
<i>J.B. Burdett</i>		MAR 21 1964
<i>A.V. Paul</i>		SEP - 3 1964
STUART M LINN		JUL 28 1968

45501

